

Energimæssig optimering af industriens posefiltre

April 2000

Energimæssig optimering af industriens posefiltre

Udført af: Inger Anette Søndergaard
Henning M. Jensen

Kontrolleret af: Mogens Johansson

April 2000

Dansk Energi Analyse A/S
Jernbane Allé 45
2720 Vanløse

Telefon: 38 79 70 70
Fax: 38 79 70 35

Forord

Denne rapport beskriver projektet: Energimæssig optimering af industriens posefiltre. Projektets formål har været at klarlægge mulighederne for at optimere design og drift af industriens posefiltre så energiforbruget begrænses. Projektet blev igangsat, fordi energisyn på virksomheder havde vist, at posefiltre ofte kørte med meget højt tryktab og dermed forhøjet energiforbrug til ventilator og renseluft.

Energiforbruget til posefiltre kan skønnes ud fra industriens årlige elforbrug til ventilation, der udgør 1.600 GWh. Anslås 10 % heraf at omfatte udsugningssystemer med posefiltre, hvor trykfaldet over poserne forbruger 50% af ventilatorens energiforbrug, fås 80 GWh/år. Med en elpris på 45 øre/kWh svarer det til 36 mio. kr./år.

Rapportens formål er at tjene som dokumentation og inspirationskilde for virksomhederne og rådgivere mv. omkring energieffektivisering af industriens posefiltre. Rapporten beskriver desuden anvisninger for energibevidst indkøb af posefiltre og for energioptimering af eksisterende posefiltre.

Rapporten omfatter hovedelementerne i projektet, hvilke er:

- Kort beskrivelse af posefiltre og den grundlæggende viden om drift af disse
- Erfaringer fra leverandør
- Forsøg på virksomheder
- Beskrivelse af energieffektiviseringsmuligheder

Projektet er udført af Dansk Energi Analyse A/S. Desuden har følgende leverandører og virksomheder medvirket:

Leverandører:

- BTR Environmental A/S
- DISA Nordfab A/S
- KE Fibertec A/S
- Moldow A/S
- Simatek A/S
- Sprout Matador A/S

Virksomheder:

- Damolin A/S
- Rockwool A/S
- TARCO VEJ A/S

Der rettes en tak til leverandører og virksomheder for deres medvirken.

Projektet er støttet økonomisk af Energistyrelsen, J.nr. 731327/98-0184.

Indholdsfortegnelse

SAMMENFATNING	5
1 INDLEDNING	7
1.1 Metode og afgrænsning	7
2 BESKRIVELSE AF FILTRE.....	8
2.1 Typer	8
2.1.1 Filtre med mekanisk rensesystem	8
2.1.2 Filtre med luftrensning	9
2.1.3 Gennemløbsretning.....	11
2.1.4 Undertryk eller overtryk i filteret	11
2.2 Poserne	11
2.2.1 Valg af poser.....	11
2.2.2 Dybde- eller overfladefiltrering.....	12
2.2.3 Tilblokning af poser.....	12
2.3 Kurve	13
2.4 Støv.....	13
2.5 Rensemeter	15
2.5.1 Filtre med returblæsning	17
2.5.2 Filtre med jetpulsrensning	17
2.5.3 Off-line/ on-line rensning	17
2.5.4 Dysesystem mv.....	17
2.6 Skal der anvendes venturi i rensningen?	18
2.6.1 Systemkurver	19
2.6.2 Data for venturier.....	20
2.6.3 Data for venturier og jetpumper	21
2.7 Behovsstyring af rensningen	24
2.8 Trykfald	24
2.8.1 Trykfald over øvrige dele i systemet	25
2.9 Rensetrykkets virkning.....	25
3 ERFARINGER FRA LEVERANDØRER.....	28
3.1 De største besparelsesmuligheder	28
3.2 Dyser eller ej	29
3.3 Renseprincip	29
3.4 Tryktab over filteret (uden poser)	29
3.5 Runde eller firkantede filtre.....	29
3.6 Topindløb (forudskiller) eller bundindløb.....	30
3.7 Indkøbstraditioner	30
3.8 Designtraditioner	31
4 FORSØG PÅ VIRKSOMHEDER.....	32
4.1 Damolin A/S – andet posemateriale	32
4.2 Rockwool A/S - nyt trykluftrensningssystem med dyser	34
4.3 TARCO VEJ A/S – andet posemateriale	35

5	EFFEKTIVISERINGER	38
5.1	Store filtre med lav belastning.....	39
5.2	Energieffektiv tilpasning af volumenstrømmen	39
5.3	Minimering af tryktab	40
5.4	Tryktabet over filteret – oversigt af løsningsmuligheder.	41
5.4.1	Tryktabet i poser	41
5.4.2	Poseareal	42
5.4.3	Posemateriale	42
5.4.4	Minimering af tryktab gennem effektivisering af rensning.....	42
5.5	Udgifter til energi ved filter:.....	43
5.5.1	Ventilator, motor og remtræk med høje virkningsgrader	44
5.5.2	Eftersyn.....	44
5.6	Effektivt rensprincip	44
5.6.1	Effektiv behovsstyring af rensningen	45
5.6.2	Effektive dyser og ventiler ved trykluftrensning	46
6	REFERENCER	47

ANVISNINGER:

Anvisning på energibevidst indkøb af posefiltre	48
Anvisning om energioptimering af eksisterende posefiltre	50

Sammenfatning

Formålet med projektet har været at udarbejde og formidle en anvisning på energimæssig optimering af industriens posefiltre, således at bedste totaløkonomi opnås. Anvisningen omfatter både eksisterende og nye posefiltre.

Den energimæssige optimering afgrænser sig i dette projekt til selve posefilteret og omfatter besparelsesmuligheder ved effektivisering af filterrensningen og reducere tryktabet over filteret. De øvrige besparelsesmuligheder i forbindelse med det samlede system, som filteret indgår i, f.eks. reduktion af tryktab i kanaler, reduktion af behovet for udsugning og effektive motorer, ventilatorer og remtræk, behandles kun begrænset i dette projekt, da de er behandlet i anden litteratur.

Projektet er gennemført som en kombination af litteraturstudium, samtaler med leverandører og forsøg på tre posefiltre i industrien.

Erfaringerne fra leverandørerne er, at det største potentiale for energibesparelser findes ved overbelastede posefiltre. Disse filtre har et højt trykfald over poserne og/eller et forholdsvis stort forbrug af trykluft. Hovedårsagerne hertil findes ofte i, at filteret har en for stor volumenstrøm i forhold til filterarealet, dvs. filteret er designet for lille, eller at støvet er trængt meget langt ind imellem posefibrene, så poserne er tilblokket. Desuden kan der ved svævestøv være tale om dårlig afrensning af støvet, hvor støvet ikke kan nå at bundfælde.

Det er leverandørernes generelle mening, at energiforbruget kan reduceres ved større grad af tilpasning af volumenstrømmen og rensningen til det aktuelle behovet.

Der er forskellige opfattelser hos leverandørerne vedrørende den energimæssige gevinst ved at anvende andet posemateriale (f.eks. membranposer) og ved at anvende dyser og venturier i forbindelse med trykluftrensning. Derfor blev der i projektet sat særligt fokus herpå, dels ved forsøg hos virksomheder og dels ved yderligere litteratursøgning.

Hos Damolin A/S undersøgte et posefilter, hvor trykfaldet var over 2.200 Pa. En undersøgelse af poserne viste, at de var tilblokkede af meget fint støv. Her blev valgt at skifte til overfladefiltrering med poser fra KE Fibertec (Økotec TS). Trykfaldet blev reduceret til 1.400 Pa, og dette niveau er opretholdt efter et halv års drift. Herved er ventilatorens effektoptag reduceret med 15 kW (ca. 21 %). Samtidig kunne trykluftforbruget til rensningen halveres, og hvis ventilatoren nedgeares til det nye driftspunkt fås en samlet besparelse på 27 kW. Damolin er efterfølgende i gang med at vurdere virksomhedens andre posefiltre.

Hos Rockwool A/S i Øster Doense var to parallelkoblede røggasfiltre belastet af fint støv. Ved en ombygning ønskede man at øge kapaciteten, således at ét filter kunne filtrere den samlede luftstrøm. Et veldimensioneret rensesystem med dyser og venturier og øgning af poseantallet med 15 % gjorde det muligt at fordoble volumenstrømmen i det ene af de to filter ved næsten uændret trykfald over poserne. Samtidig blev trykluftforbruget halveret, så der spares 4,5 kW.

Et filter hos Tarco Vej A/S i Svogerslev havde et trykfald på 1.500 Pa og var derfor begrænsende for produktionsmængden i anlægget. Ved at skifte til overfladefiltrering med poser fra

KE Fibertec blev trykfaldet for en periode reduceret til 600 Pa. Efter nogle måneder skiftede støvet egenskab til ekstraordinært fint støv, som tilblokkede de nye poser, hvorved trykfaldet endte på udgangsniveauet ca. 1.400 Pa. Dette er dog et rimeligt niveau, som ikke kunne have været opretholdt under de ændrede støvforhold med de tidligere poser.

Resultaterne fra de praktiske ændringer af disse tre posefiltre viser, at det var muligt at reducere energiforbruget ved ændring af posematerialer og renseprincipper. Hvis der fokuseres på det energiforbrug, der anvendes på at overvinde tryktabet i poserne og til rensningen, blev følgende opnået:

Virksomhed	Sparet	kW reduktion i %	Sparet kr/år
Damolin A/S	26 kW	44	94.000
Rockwool A/S	11 kW	64	33.000
Tarco Vej A/S	36 kW	52	18.000

Der er således gennemsnitligt opnået 50% reduktion i energibehovet på de tre filtre.

I afsnittet om renseprincipper er angivet en ny metode til afgørelse af med hvilket renseprincip et filter forbliver trykfaldsmæssigt stabilt. Her anvendes kurver for rensesystemet og modstanden i pose og støvlag i lighed med de kurver, der benyttes i pumpesystemer. Metoden forklarer de forskellige erfaringer med og uden dyse/venturi i rensesystemet.

Det totaløkonomisk optimale design af et posefilter afhænger bl.a. af det aktuelle støvs egenskaber og støvmængde. Ud fra en analyse af de forhold, der er beskrevet i rapporten, kan følgende fremhæves som nøgleområder, som skal indgå i vurderingen:

- Merinvestering ved øget filterareal sammenholdt med driftsbesparelsen ved lavere trykfald og mindre renseluft
- Merinvestering ved brug af bedre ventiler, rørinstallation for renseluften, samt dyser sammenholdt med driftsbesparelsen ved højere renseseffekt og sparet renseluft.
- Vurdering af rensesystemets evne til at opretholde et stabilt trykfald på filteret, ud fra fastlæggelse af driftspunkt, som beskrevet i rapporten.
- Merinvestering ved veldesignet kanalsystem med bløde bøjninger, energieffektive forhold omkring ventilator sammenholdt med driftsbesparelsen ved lavere energiforbrug.

Anvisningerne bagest i rapporten giver en kortfattet oversigt over de elementer, der bør fokuseres på ved energioptimering under indkøb og på eksisterende filtre.

1 Indledning

Dette projekt fokuserer på mulighederne for at forbedre designet af nye filtre og ændre eksisterende filtre, der opererer med for højt energiforbrug, ofte som følge af for højt trykfald over poserne. Projektet har primært haft det sigte at vise, at der er muligheder for at forbedre disse forhold gennem praktiske undersøgelser af ændringer ved eksisterende hårdt belastede filtre. Projektet har endvidere klarlagt mulighederne for energimæssig forbedring af bl.a. rensesystemer med dyser og venturier.

Rapport og anvisning henvender sig til virksomheder, der anvender posefiltre, samt til virksomhedernes leverandører af filtre og poser. Ved at sætte fokus på energiforbruget til drift af filtre, kan forbruget nedbringes såvel ved opfølgning af den daglige drift, som når der skal skiftes poser eller gennemføres anden vedligehold. Her kan rapporten tjene som hjælp for at finde årsager til bl.a. et forhøjet trykfald og de muligheder, der findes for at normalisere disse forhold igen.

Det beskrivende afsnit om filtre (afsnit 2) omtaler de grundlæggende forhold og begreber omkring posefiltre. Disse emner er væsentlige for forståelse af filterets funktion og virkemåde. I dette afsnit indgår også forklaring på hvornår rensesystemet kan forbedres med dyser og venturi.

1.1 Metode og afgrænsning

I begyndelsen af projektet blev der taget kontakt til danske leverandører af posefiltre og poser til industrien for at nyttiggøre den herværende viden og erfaring omkring energieffektivisering af posefiltrene.

Der blev foretaget litteraturundersøgelse dels via Internettet og dels udfra tilgængelige håndbøger og artikler om energibesparelsesmuligheder. Specielt en af bøgerne (Löffler et al: Dust collection.) indholder mere grundlæggende viden om filterets virkemåde, som også er benyttet i det beskrivende afsnit i denne rapport.

Først imod slutningen af projektet blev der udgivet en artikel om rigtigt valg af rensesystemer. Artiklen blev fundet ved en fornyet søgning. Derfor er denne artikel medtaget i rapporten til forklaring af forholdene, men den har desværre ikke kunnet benyttes under de indledende analyse af filtrene mv.

I projektet er der fokuseret på filtre, der kan have et forhøjet energiforbrug enten i form af for højt trykfald eller for stort renseluftforbrug. Derfor er der ikke behandlet indsugningsfiltre med kuvertkassetteposer til bl.a. rensning af udeluft, idet disse opererer med lave trykfald og ingen rensning.

Da projektets område er energiforhold ved posefiltre, er der i rapporten ikke behandlet bl.a. de mange materialer, der findes til fremstilling af poser. Vægten er lagt på beskrivelse af de to filtreringstype: overflade- og dybdefiltrering, medens beskrivelse af de fysiske og kemiske forhold for valg af fremstillingsmateriel af poserne ikke er medtaget.

2 Beskrivelse af filtre

Posefiltre benyttes til at rense en gasstrøm for støvpartikler. Støvpartiklerne vil sætte sig på poserne som et støvlag, medens den rensede gasstrøm passerer igennem poserne.

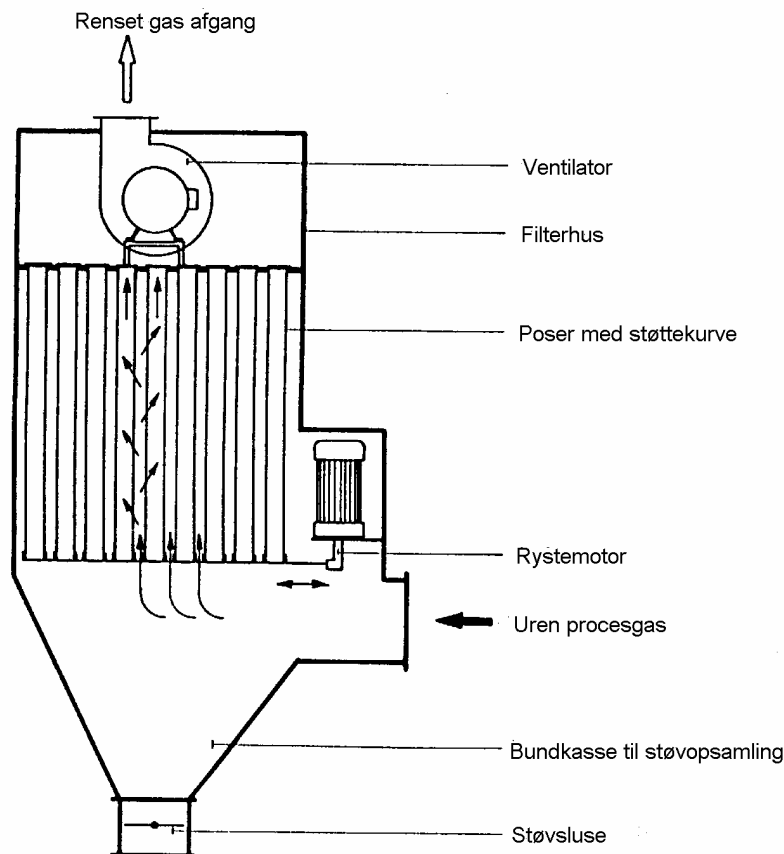
Det er kun støvpartikler over en given størrelse, der tilbageholdes, medens en stor del af de mindre partikler passerer igennem poserne sammen med gasstrømmen. Derfor skal posernes "finhed" vælges ud fra støvets størrelsesfordeling og mængden af støv der må sendes videre med gassen. Generelt anvendes posefiltre på støv med en diameter over 0,1- 0,5 μm .

2.1 Typer

Posefiltre kan opdeles i to hovedgrupper efter deres rensesprincip:

- posefiltre med mekanisk rensesystem (bankefiltre)
- filtre med luftrensning.

2.1.1 Filtre med mekanisk rensesystem



Figur 1. Mekanisk bankefilter med rystemotor

I posefiltre med mekaniske rensesystemer rystes støvet af poserne ved, at en rystemotor bevæger poserne. De mekaniske rensesystemer er efterhånden fortrængt fra markedet af filtre,

der benytter luftrensning. Luftrensning giver en mere effektiv rensning af poserne, og filtrene kan dermed gøres mindre. Da bankefiltre ikke længere er så almindelige i industrien, behandles i det efterfølgende alene filtre med luftrensning.

2.1.2 Filtre med luftrensning

I filtre med luftrensning foretages rensningen ved at blæse en luftstrøm igennem poserne imod procesgassens retning. Filtre med luftrensning kan opdeles i følgende undergrupper:

A. Returblæse rensning

- Ring-returblæse filtre, hvor en ventilator gennemblæser poserne med en bevægelige ring-dyse. (fig. 2)
- Returblæse filtre med gennemblæsning af få poser ad gangen vha. en ventilator. (fig. 3).

B. Jet rensning med trykluftrensning.

- med række (sektion) rensning (fig. 4).
- med enkelt pose rensning (fig. 5).

Filtrene kan være udformet med eller uden dyser og venturier. Jet (eller Jet-puls) rensprincippet betyder, at der åbnes meget kort tid (nogle ms) for trykluft. De første anlæg med trykluftrensning benyttede længerevarende rensning med trykluft, men i dag benyttes kun Jet-rensning.

Filteret kan enten være konstrueret til at rensningen foregår med hele filteret i drift eller til såkaldt off-line rensning. Ved off-line rensning afbrydes procesluften og dermed modtrykket til den del af filteret, hvor rensningen sker, under rensningen.

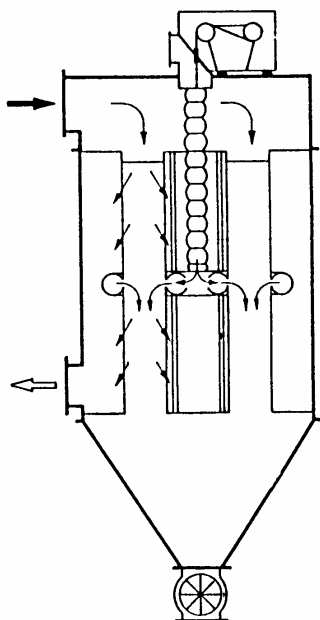


Fig. 2: Ring-returblæse filter. Poserne gennemblæses på et lille område af alle poserne.

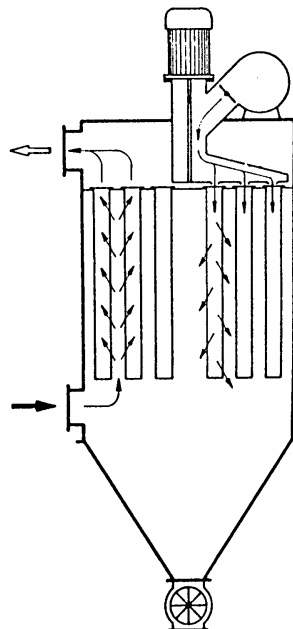
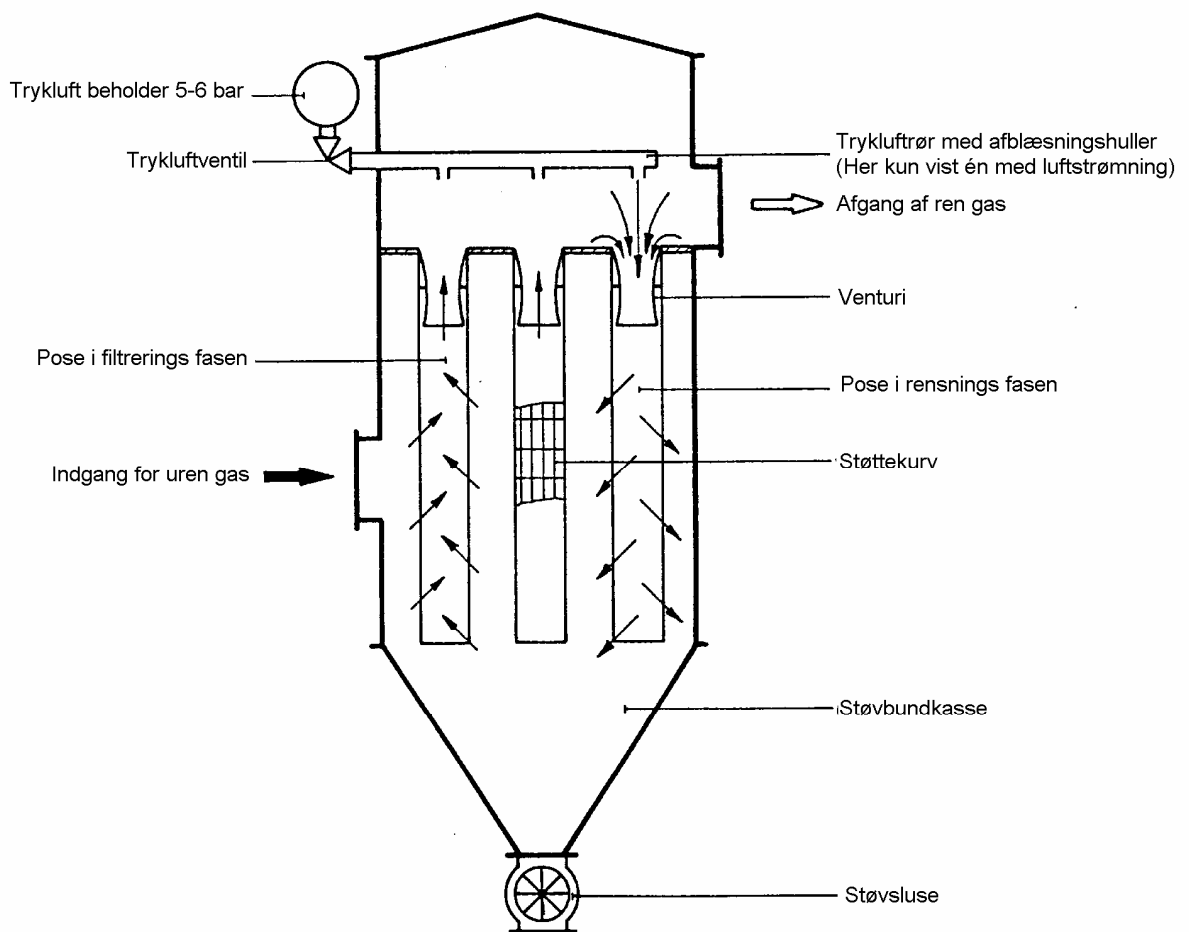
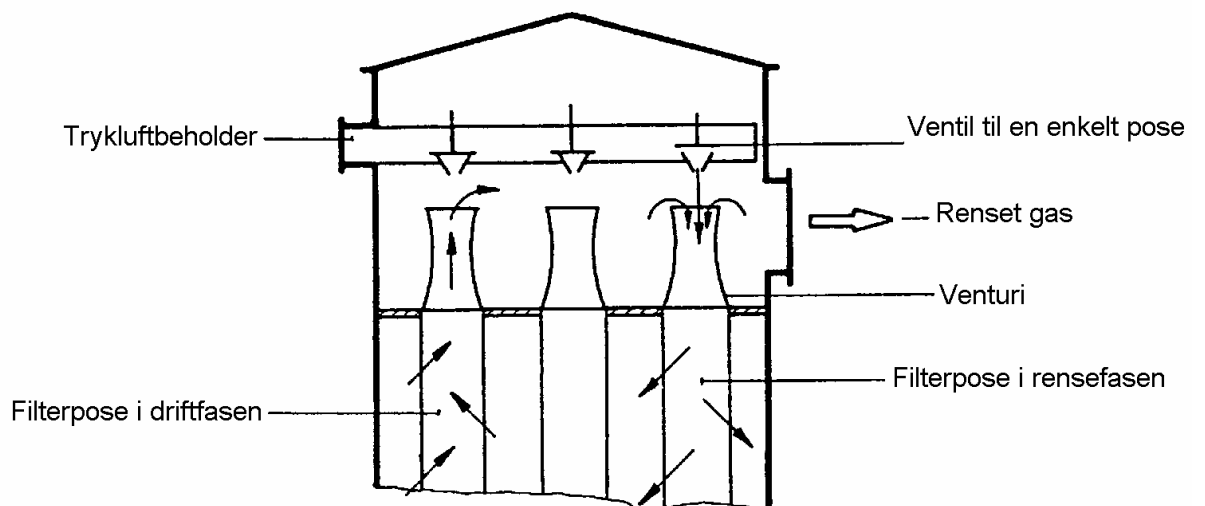


Fig. 3: Returblæse filter. Elmotoren drejer returluftventilstoren rundt til poserne der skal renses.



Figur 4. Jet-puls filter, skematisk vist såvel en pose i filtrerings fasen som rensningsfasen.



Figur 5. System til enkelt pose rensning

2.1.3 Gennemløbsretning

Ved posefiltre skelnes der også mellem procesgassens gennemløbsretning inde i filteret:
Filtre med opadgående procesgasstrøm (indstrømning i bundkasse)
Filtre med nedadgående procesgasstrøm (indstrømning i toppen /evt. med for-separator).

Ved valg mellem disse er det afgørende at støvet kan nå at forlade poserne under rensningen, idet støvet ellers vil blive suget ind i poserne igen. Hvis svævehastigheden for støvet (eller flager af støvet, hvis sådanne dannes) er tilstrækkelig til, at støvet når bundkassen under rensningen, kan filtre med opadgående procesgasstrøm anvendes. Ellers vælges nedadgående procesgasstrøm eller off-line rensning (afsnit 2.5.4). Det er bl.a. tilfældet ved let og fint støv.

Hvis der ved design er taget hensyn til disse forhold, er de to filtertyper energimæssigt ens.

2.1.4 Undertryk eller overtryk i filteret

Filtrene er i de fleste tilfælde konstrueret for undertryk i filteret, så ventilatoren placeres i afgangen på filteret. Det giver ingen støvbelastning af ventilatoren, og den kan vælges med de energimæssigt mere effektive bagudbøjede skovle. Endvidere undgås støvgener fra filteret ved utætheder mv.

Hvis der er flere afsugningssteder, kan hver af disse forsynes med deres egen ventilator, som skaber overtryk i filteret og kanalsystemet. Ventilatoren skal kunne tåle støvbelastningen, hvilken kan være et problem ved slidende støv. Energimæssigt er der den fordel, at de enkelte ventilatorer kan stoppes, når der ikke er behov for afsugning det pågældende sted. Hvis der er meget stor forskel på det krævede undertryk i de forskellige afsugningssteder, kan ventilatorerne designes forskelligt og dermed køre energimæssigt optimalt.

2.2 Poserne

Poserne findes i to fysiske udformninger.

- Runde poser, typisk 0,1-0,25 m i diameter og 2-5 m lange.
- Aflange "pocket" poser – delvis benævnt konvolut/fladefilterposer, ikke at forveksle med de mindre og tyndere kassette/rammefiltre, der anvendes til friskluftrensning mv. Består af to flader på typisk 2 * 0,9 m syet sammen til en konvolut.

Forskellen mellem disse typer er primært, at de aflange konvolutposer med deres større poseareal giver færre poser, der skal håndteres ved poseskift m.v., og de kan have større filterareal på en given volumen filter. Til gengæld er der i litteraturen oplyst, at et rensesystem generelt kun vil have den halve effektivitet i de aflange poser, sammenlignet med runde poser¹.

2.2.1 Valg af poser

Posematerialet vælges, således at det kan holde til de fysiske og kemiske forhold, der findes i filteret, dvs. surhedsgrad (pH), temperatur, fugtighed mv.

¹ Löffler et al Dust collection.. s. 232 angiver faktor 0,5 sammenlignet med 1,0 for runde poser.

Udgangspunktet vil ofte være, at posemediet vælges ud fra de fysiske og kemiske forhold, hvorefter strukturen mv. fastlægges ud fra kravene til luftmængde og reststøvindholdet.

Et af de mest udbredte materialer i industrien er 400-550 g/m² polyester(PE)-poser. Dette posemateriale giver en dybdefiltrering, hvor både posernes overflade og 10-30 % af tykkelsen fungerer som aktiv filterflade. Poserne har en relativ lav anskaffelsespris ca. 100 kr. for en pose med et areal på 1 m². PE-poserne har typisk et reststøvindhold på 10-15 mg/m³ i afgangsluften fra filteret.

Af andre materialer kan nævnes Polyacryl bl.a. Dralon T[®], Polyamide (PA) Nylon[®] og Aromatisk Polyamide bl.a. Nomex[®]. Sidstnævnte kan tåle højere temperatur (ca. 200 °C).

2.2.2 Dybde- eller overfladefiltrering

De fleste poser er konstrueret for dybdefiltrering, hvor støvet trænger ind imellem posefibre og dermed medvirker til at give en tæt struktur med god filtrering.

I en mindre del af filtrene sidder specialfremstillede poser med overfladebehandling eller membraner. Det primære formål med både membranen og overfladebehandlingen er at opnå en overfladefiltrering, dvs. støvet fastholdes på overfladen. Fordelen er, at støvet lettere og mere effektivt falder af posen ved rensning.

Permeabilitet måles som luftgennemstrømningen ved en trykforskel over pose (og evt. støv) på 196 Pa (20 mm VS). Permeabilitet opgøres i l/min pr. dm² posemateriale. Værdier vil typisk være 200-400 l/dm² min for dybdefiltreringsmedier og 20-80 l/dm² min for overflademedier.

For dybdefiltreringsmedier falder permeabiliteten ved støvbelastning til f.eks. 30 l/dm² min før rensning og er 150 l/dm² min efter rensning, hvor et overflademedie vil veksle mellem f.eks. 10 l/dm² min og 40 l/dm² min. Disse værdier er størrelsesordener og vil afhænge af medie og støv.

Ulempen ved membranmediet er at poserne er mere sårbare, hvis overfladen ødelægges af f.eks. mekanisk slid. Støvet kan herved trænge igennem membranen, men støvet kan ikke renses ud igennem membranen under rensprocessen.

Med overfladefiltrering kan der opnås et reststøvindhold på ca. 0,2-5 mg/m³. Poserne har relativ høj anskaffelsespris. En overfladebehandlet pose koster 170-200 kr./m², mens en tilsvarende med en teflon[®] membran koster 270-300 kr/m².

2.2.3 Tilbløknings af poser

Ved dybdefiltrering kan støvet trænge så langt ind imellem posens fibre, at det ikke kan fjernes, selv ved kraftig rensning. Filteret får derfor konstant forhøjet trykdifferens. Dette kaldes, at poserne er tilbløkkede ("Blinded"), og forholdene kan kun normaliseres ved udskiftning af poserne. Tilbløknings kan opstå meget hurtigt ved fint støv og højt belastede filtre eller ved dårlige rensesystemer.

2.3 Kurve

Kurvene støtter poserne, således at disse ikke presses sammen af procesgasstrømmen, men bevarer en "kanal", som gassen kan strømme igennem.

Kurvene fremstilles ofte i overfladebehandlet ståltråd.

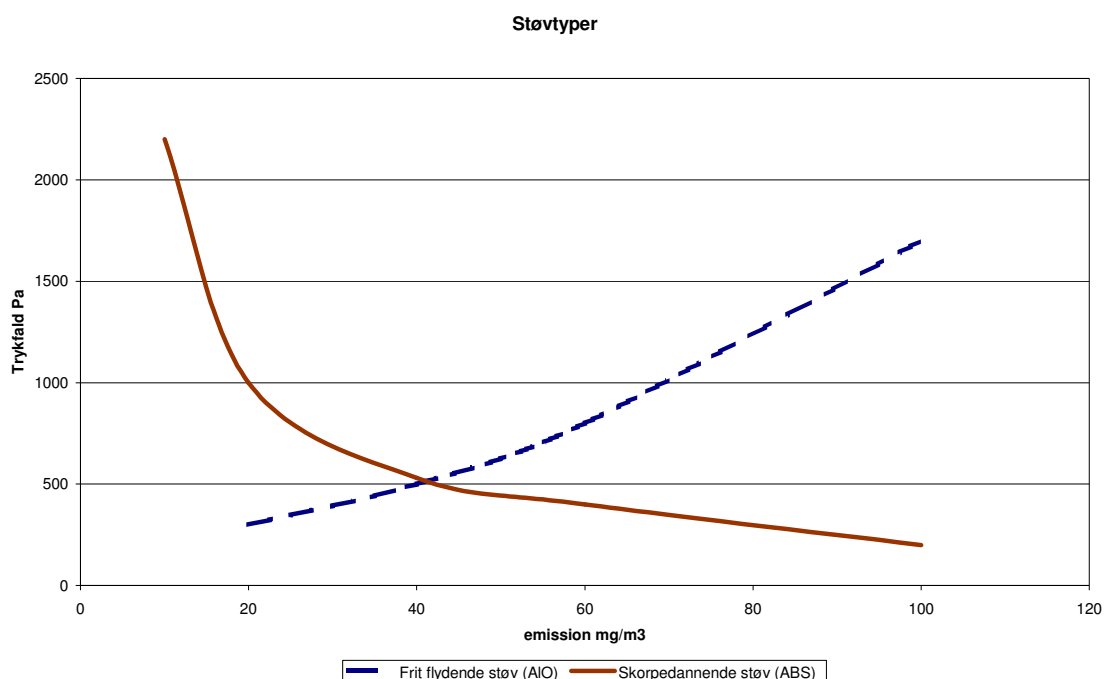
Kurvene skal have en pasform til filterposen. Denne tilpasning er et kompromis imellem:

- at give posen en lang levetid ved at den sidder så stramt på kurven, at posen ikke bevæges ved rensning,
- at give en effektiv rensning ved en relativ løs og bevægelig pose, der giver en god "afrystning" af støvet ved det første trykstød.

Det bedste kompromis imellem disse to hensyn baseres på leverandørernes erfaring. Poser ved overfladefiltrering vil som følge af overfladen bevare en mere bevægelig form og kræve en tættere pasform til kurven for at undgå et øget slid ved rensbevægelserne.

2.4 Støv

Støvet kan opdeles efter dets evne til at danne skorpe/klumper (agglomerering) eller forblive i løs struktur (frit flydende) under det tryk, det bliver udsat for i støvlaget.

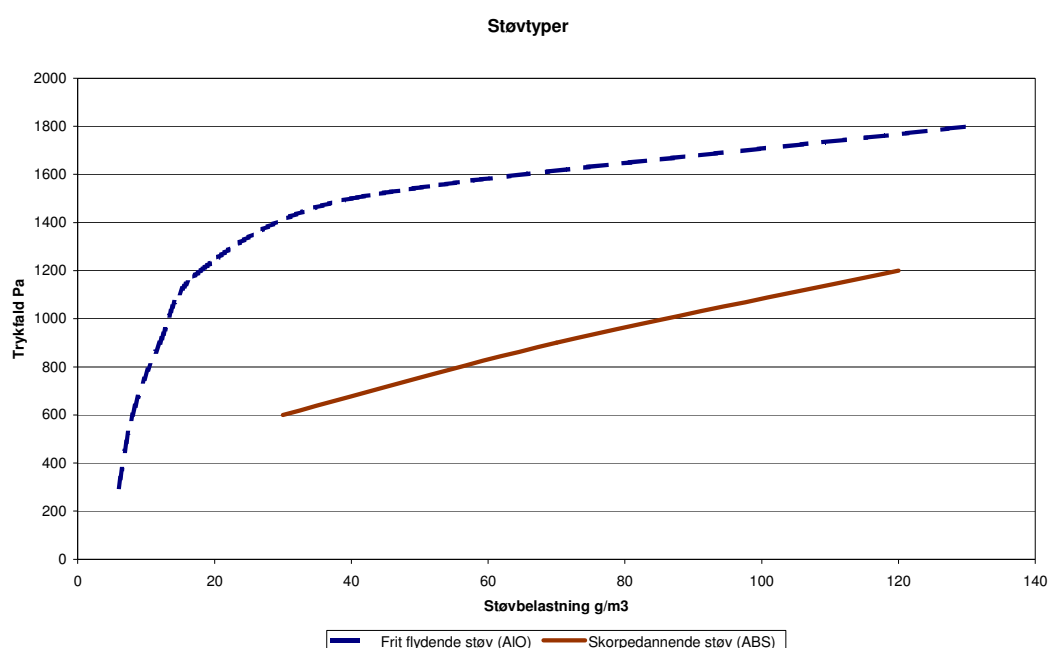


Figur 6. Forskel mellem skorpedannende støv (ABS) og frit flydende støv (AIO). Næsten samme forløb af kurverne fås ved afbildning af filterbelastning som funktion af emissionen.

Af fig. 6 ses at skorpedannende støv, som ABS,² giver en effektiv filtrering (lav emission) ved højt trykfald over poserne. Ved effektiv rensning og deraf følgende lavt trykfald sker en øget penetrering af støv i gennem poserne og dermed øget emission.

Frit flydende støv, som Aluminium oxid, AlO, får en dårlig filtrering ved højere trykfald og tykkere støvlag, som følge af en øget penetrering af støvet i gennem poserne. Skal emissionen være lav ved frit flydende støv kræver det effektiv rensning, som kan opretholde et lavt trykfald.

Tilsvarende gælder, at med frit flydende støv giver høje filterbelastninger (i $\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2$) også høje emissionstal som følge af penetrering af støv igennem poserne. Ved skorpedannende støv fås lavere emission med stigende filterbelastning, idet det øgede støvlag modvirker penetrering af støv igennem poserne.



Figur 7. Trykfaldets afhængighed af støvbelastningen ved konstant gasflow.

Ved øget støvbelastning fås, som vist på fig. 7, en lineær stigning i trykfaldet over pose og støvlag, når støvet er skorpedannende. Med frit flydende støv fås derimod en meget stor stigning i trykfaldet ved den første øgning i støvbelastningen. Dette skyldes at frit flydende støv kan presses ind imellem posefibrene og derfor hurtigere reducerer det frie areal, som gassen kan strømme igennem.

For filtre med skorpedannende støv vil skorpen være let at afryste under rensningen ved den første formændring af posen og trykfaldet over poserne vil være lavere i den restende del af rensningen. Dvs. rensningen kræver lavere effekt.

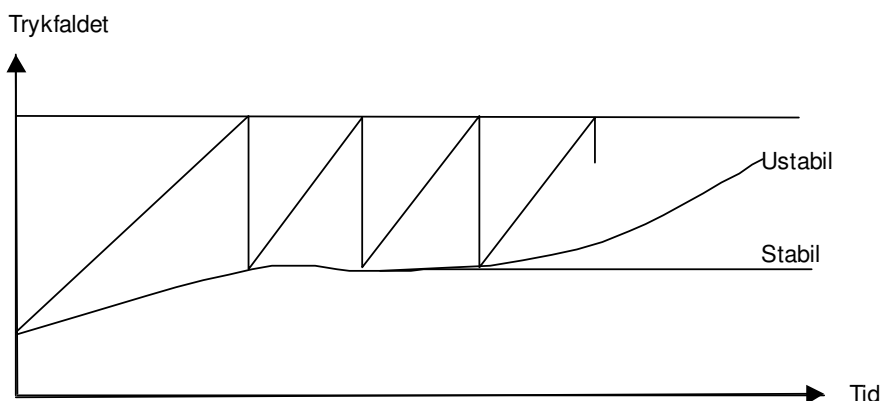
Støv, der forbliver løs i strukturen vil have øget tendens til at trænge langt ind i filtermediet. Herved fås et højere trykfald over posen under rensningen, og den afsluttende gennemblæsning er derfor vigtigere ved frit flydende støv.

² Acrylobutastyrene pulver.

Støvindlejringen ved især fint frit flydende støv kan undgås ved overflade- og membranfiltrering.

2.5 Rensemeter

Når poserne opsamler støvet vokser støvlaget og dermed også trykfaldet over poserne. For at nedbringe dette trykfald foretages en rensning. Her fjernes en stor del af støvlaget, og trykfaldet falder til et lavere niveau .



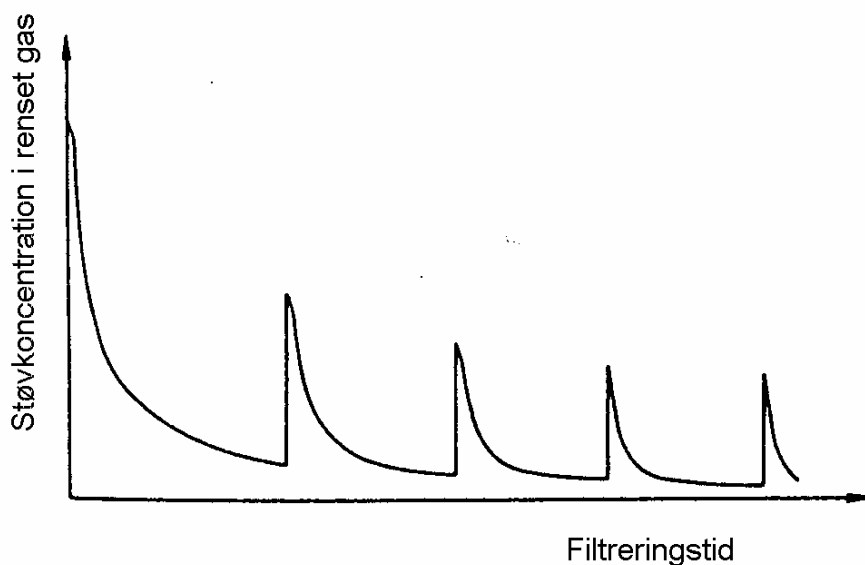
Figur 8. Variation i trykfaldet over poserne ved rensning af posefiltre. Hvis trykfaldet efter rensning forbliver på samme niveau er filteret stabilt. Er trykfaldet stigende, er filteret trykmæssigt ustabil.

Trykfaldet over en pose vil således svinge mellem et højt og lavt niveau ved hver rensning af posen. Trykfaldet skal helst falde til et konstant niveau efter hver rensning, således at trykfaldet forbliver stabilt over en længere periode. Hvis man efter hver rensning når ned på samme udgangstrykfald, kører posefilteret stabilt. Men stiger trykfaldet langsomt over en periode er filteret ustabil tryktabsmæssigt. Det er energimæssigt uheldigt, idet der herved bruges øget energi til at sende gasstrømmen igennem filteret.

Er en stigning i trykfaldet forårsaget af en korterevarende stigning i støvbelastningen, kan trykfaldet måske nedbringes igen med en "efterrensning", hvor rensningen kører en periode uden volumenstrøm igennem filteret.

Oftest renses kun en del af poserne i filteret samtidigt, hvorved disse trykvariationer ikke iagttages over det samlede posefilter i samme grad, som over de enkelte poser.

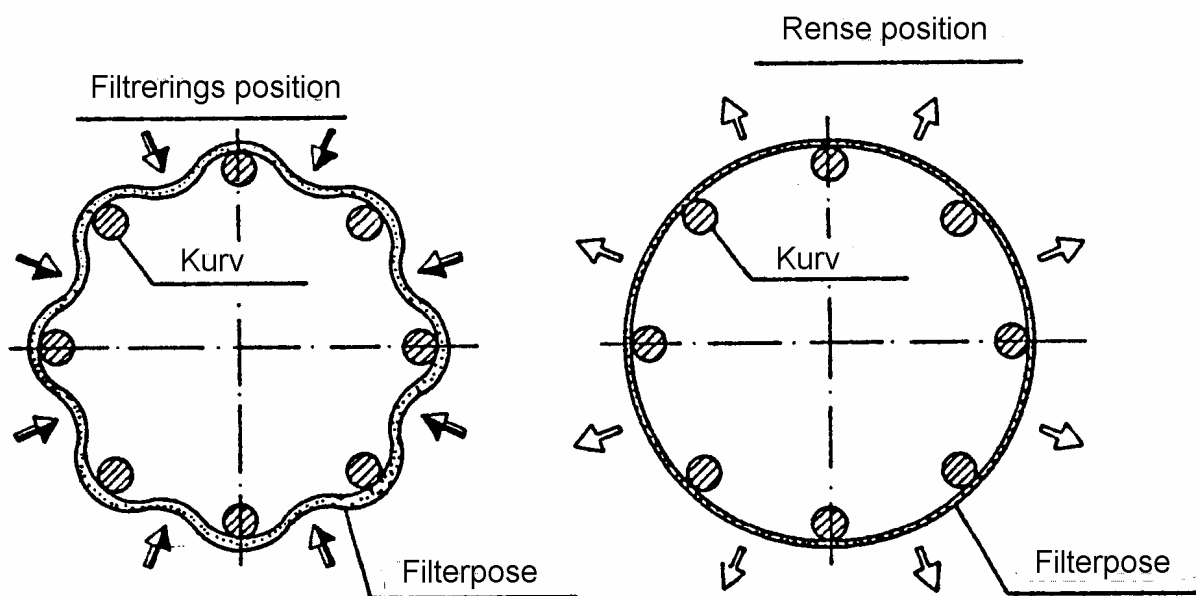
Ved en rensning forringes filtreringen, idet støvlaget medvirker aktivt ved filtreringen. Støvemissionen øges derfor kortvarigt (op til 30 sek.) ved hver rensning. Dette fænomen er vist på figur 9 og kan ofte ses på filterafgangen som svag dis ved hver rensning.



Figur 9. Støvkoncentration i afgangsluften fra filter, hvor rensningerne giver korte støvgennemtrængninger.

Rensningen består af 3 hovedfaser, der generelt alle har samme vigtighed for rensningen:

1. Hurtig opfyldning af posen med renseluft.
2. Opbygning af trykpuls (p max.).
3. Renseluften gennemblæser posen.



Figur 10: Filterposens bevægelse ved filtrering og ved rensningen. Posen skal være tilpas løs til at tillade bevægelsen fra stjerne- til rund-form, der bidrager væsentligt til rensningen.

Ved afrensning med trykluft sker der først en ændring af posens form omkring kurven. Fra en indsuget "stjerneform" omkring kurven ændres formen til næsten en cirkel, og posen stopper

brat, når den når sin største diameter (vist på fig. 10). Ved det mekaniske stød fjernes en stor del af støvet som "skaller". Herefter følger næste trin i rensningen, nemlig en returblesning af posens fibre, hvorved det indlejrede støv fjernes.

2.5.1 Filtre med returblesning

Disse filtre er forsynet med en ekstra ventilator, der returbleser poserne med frisk luft eller en del af den rensede luft, der ledes retur igen. Rensningen foregår med lavere tryk, og har derfor ikke samme energiindhold som ved trykluftpuls, og der benyttes ofte større luftmængder. Rensluften skal også passere igennem filteret. Derfor skal filteret designes til den samlede luftmængde af procesgassen og renseluften.

2.5.2 Filtre med jetpulsrensning

Her renses poserne med trykluft, idet en ventil åbner i kort tid (nogle ms til 0,2 s) ved et tryk på 4-6 bar og sender en trykimpuls igennem posen.

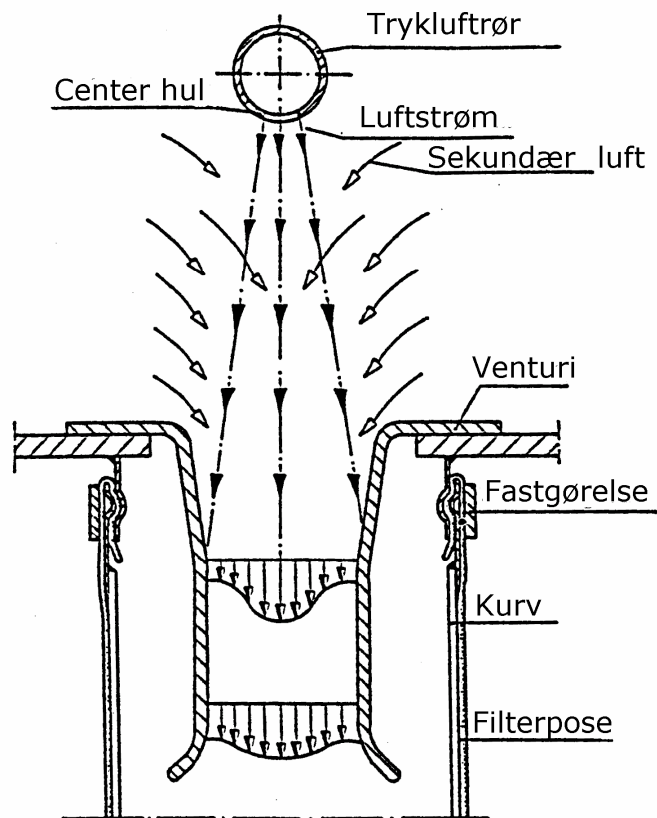
Typisk renses én poserække med 6-8 poser ad gangen. Luften fordeles med et rør, hvori der er boret huller over de enkelte poser. Systemet kan forbedres ved at anvende en dyse og venturi, som giver en bedre fordeling af luften. Venturien øger mængden af renseluft i poserne, idet sekundærluft suges gennem venturien (fig. 11).

2.5.3 Off-line/ on-line rensning

Svævestøv kan have vanskeligt ved at bundfældes under rensningen. Når filtreringen starter igen er der derfor risiko for, at svævestøvet suges ind i posen igen. I sådanne tilfælde kan det være en fordel at stoppe procesgas flowet i de dele af filteret, der renses, så rensningen sker uden modtryk. Dette benævnes off-line rensning.

2.5.4 Dysesystem mv.

For at udnytte energien i trykluft bedst muligt kan afgangsrøret være forsynet med dyser og/eller venturier til de enkelte poser. Ofte er der dog blot et hul i fordelingsrøret over den enkelte pose.



Figur 11. Venturi i toppen af en filterpose. Dyse og venturi benævnes også Jet-pumpe.

Fordeletrør og ventiler skal være i en stor dimension, idet der ellers kan tabes meget af energien, inden denne når frem til posen og støvlaget. Ved for små dimensioner vil der være en skæv fordeling af rensetrykket mellem poserne, ligesom trykpulsen kan ramme posen skævt.

2.6 Skal der anvendes venturi i rensningen?

Der er flere eksempler på modstridende erfaringer med anvendelse af venturier i rensesystemet. Nogle steder har det været en forbedring, medens der andre gange har været tvivl om forbedringen. Der har også været undersøgelser, hvor der er fundet højere renseseffektivitet pr. energiforbrug uden venturi end med disse (Lanois og Wiktorsson, 1982).

Der er således behov for en metode til at forklare forholdene omkring rensesystemerne.

Ved en fornyet søgning på Internettet i slutningen af dette projekts periode blev der fundet en ny artikel³ af Hsin-Chung Lu og Chuen-Jinn Tsai, der giver en forklaring på forskellige resultater og opfattelser af effekten af dyser og venturier.

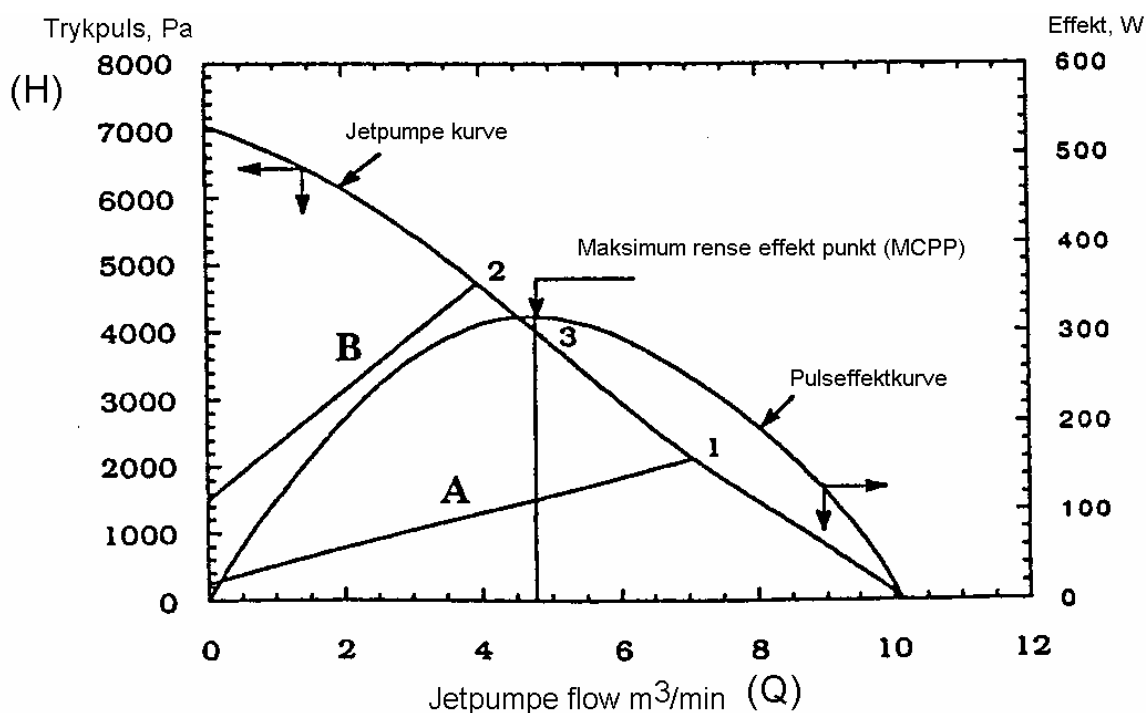
³ Artiklen er i Journal of Environmental Engineering, juni 1999 p. 583-591

Artiklen opstiller generelle kurver og formler for filterrensning, og har også en metode til at afgøre, hvad der er stabil filterdrift og hvornår venturier er påkrævet. Artiklen viser, at venturier kun har en øgning af renseseffekten ved lave permeabiliteter (høje trykfald over filtrene), medens der ved lavere belastninger er bedre effekt af tryklufte uden venturier.

2.6.1 Systemkurver

Ved at betragte dyse og venturi som en pumpe (ofte benævnt Jet pumpe) kan en H-Q kurve optegnes over den afgivne trykpuls som funktion af volumenstrømmen. Ud fra H-Q kurven kan konstrueres en kurve over den af rensesystemet leverede effekt (pulseffekt). Denne Pulseffektkurves maksimum benævnes "MCCP", Maksimum-rens-effekt-punkt ("maximum cleaning power point").

Ud fra kendskabet til permeabiliteten af filterposen med støvlag kan der optegnes en filterkurve på tilsvarende måde som en systemkurve for et rørsystem.



Figur 12. H-Q kurve for Jet pumpe og tilhørende pulseffektkurve med maksimum i MCCP. Samt to filterposekurver

Figur 12 viser en tryk-flow (H-Q) kurve for en jetpumpe. Trykstødet i posen er vist som funktion af flowmængden. Pulseffekten er beregnet som produktet af jetpumpe flow (Q) og trykstød/puls (H), og er vist som Pulseffektkurven.

Fra målinger af permeabiliteten på filterpose med støvlag beregnes posekurven, som er en ret linie. På fig. 12 er vist to eksempler: A for en pose/støvlag med stor permeabilitet (lille hældning) og B tilsvarende med lille permeabilitet.

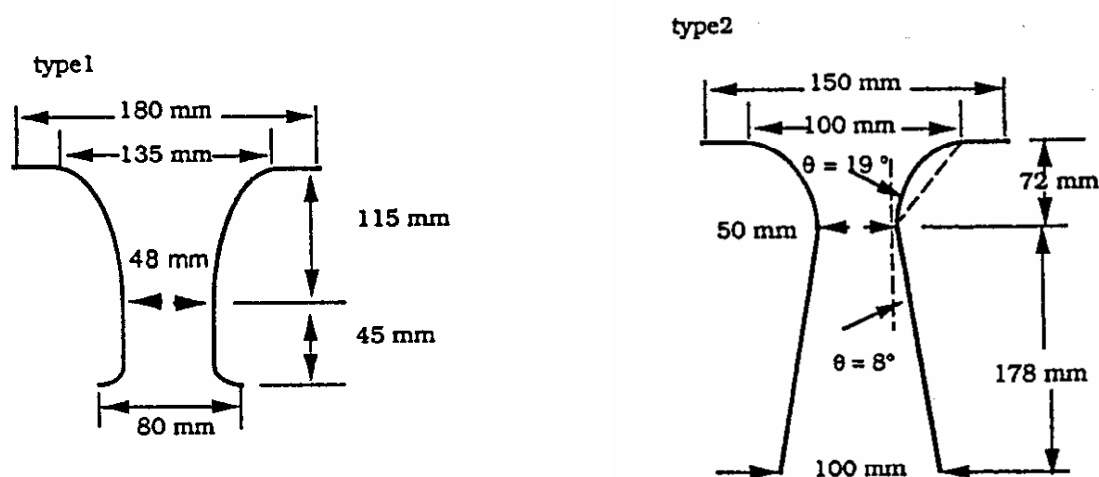
Skæringen mellem filterposekurven (A el. B) og jetpumpekurven giver driftspunktet, benævnt 1 og 2 på fig.12. Hvis driftspunktet ligger til højre for MCPP, som tilfældet er ved punkt 1, bliver filteret trykmæssigt stabilt, idet en øget støvbelastning og dermed modstand i filteret vil øge hældningen af linjen A og operationspunkt 1 vil glide opad jetpumpekurven, hvorved pulseffekten stiger (aflæses af pulseffektkurven). Dermed øges effekten af rensningen, hvilket modvirker det stigende trykfald over posen.

Hvis driftspunktet ligger til venstre for MCPP er filteret ustabil trykmæssigt (pkt. 2/B på fig.12). En øgning i støvbelastningen bevirker, at punktet bevæger sig op ad jetpumpekurven. I dette tilfælde falder pulseffekten, og rens effektiviteten reduceres, med heraf følgende blivende øget trykfald over poserne.

Som omtalt i afsnit 2.4 (Støv) giver skorpedannende støv lavere trykfald, f.eks. svarende til filter kurve A/1, medens frit flydende støv giver højere trykfald under rensningen, f.eks. kurve B/2. Heraf ses at frit flydende støv ikke alene kræver en højere trykpuls, men også resulterer i lavere gennemblæsningvolumen i driftpunktet. Det indlejrede støv kræver også ofte en større gennemblæsning (evt. længere tid) for at fjerne støvet, og dermed bliver det endnu vigtigere at vælge en "effektfuld jetkurve" /rensesystem.

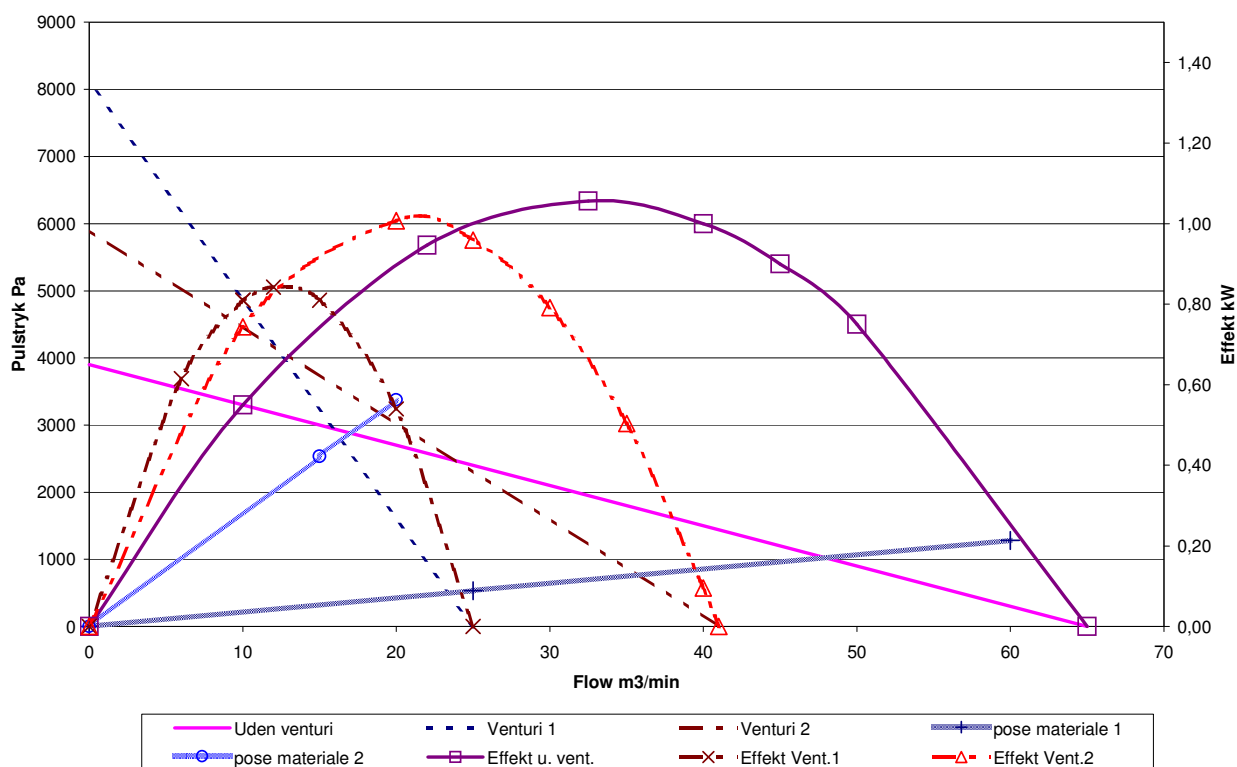
2.6.2 Data for venturier

Formen af jetpumpekurven afhænger af venturiens udformning, dysestørrelse og trykket på trykluften. Fig 13 viser to venturier der er foretaget målinger på (ref. 2). Type 1 er en kommerciel venturi, medens type 2 er en ny type.



Figur 13. Dimensioner på de venturier, der er data for i artiklen.

Ud fra data fra målinger på de i fig. 13 viste venturier kan rensesystemet beskrives med kurverne i fig. 14, hvor der også er medtaget kurver for et system uden venturi. I figuren er også indlagt posekurver for to filterposer som eksempel.



Figur 14. Jetpumpekurver uden venturi og med to forskellige venturier. De tilhørende pulseffektkurver er vist. Desuden er vist karakteristikkurver for to poser med støv.

Af pulseffektkurven for dysen uden venturi ses, at denne har maksimum ved det største flow af de tre jetpumper/rensesystemer. Denne vil alene give trykstable posefiltre, når posekurven skærer rensesystemets pulstrykkurve (driftspunktet) til højre for maksimumpunktet. Dette vil gælde for poser med lav modstand (hældning af kurven) og dermed høj permeabilitet, eks. pose 1 på fig. 14.

Af fig. 14 ses også, at de to jetpumper med venturier giver en lavere maksimal renseseffekt (lavere maksimum M CCP) end en dyse uden venturi, og derfor vil disse rensesystemer være mindre effektive ved poser med høj permeabilitet.

Ved pose/støv med lav permeabilitet (stejl posekurve – eks. posemateriale 2) vil dennes skæring med pulseffektkurverne ligge så langt til venstre, at kun venturi 1 har sit M CCP på den rigtige (venstre) side heraf. Derfor vil kun venturi 1 give et trykstabilt rensesystem ved dette støv/poseforhold. Her ville et rensesystem uden venturi give et let stigende trykfald over filteret, hvilket svarer til et overbelastet posefilter.

2.6.3 Data for venturier og jetpumper

Ved at måle på venturier ved forskellige flow og pulstryk kan de enkelte jetpumper indtegnes i H-Q diagrammer. Men der er mange variationsmuligheder med afstande og dysediameter mv. For at begrænse analysearbejdet og øge overskueligheden er der i artiklen (ref. 2) opstillet et generelt ligningssæt, som med tilhørende data i form af kurver gør det muligt at skønne virkningen af ændringer omkring Jetpumpen.

Ligningerne opstilles efter en dimensionsanalyse på Jetpumpens effektivitet, i lighed med udviklingen af udtrykkene til trykfaldsberegninger i rør.⁴ Der findes i alt 5 udtryk (Π), hvor 3 af disse anvendes ved dannelse af 2 udtryk (η), som benyttes til figurene. I det følgende vises kurverne og udtrykkene, som kan benyttes til at beregne nye Jetpumpekurver ved ændringer af tryk eller dimensioner uden nye målinger. Men disse kan også benyttes til at beregne jetpumpekurver for systemer, hvor kun de fysiske dimensioner er kendt, hvilket kan være tilfældet indtil der er foretaget målinger på rensesystemet.

Der kan dannes en kurve ud fra η_1 og η_2 , som derefter kan benyttes til at forudsige forholdene med anden dyse diameter mv. Disse er :

$$\eta_1 = \frac{p}{p_{tk0}} \cdot \left(\frac{D}{d_n} \right)^2$$

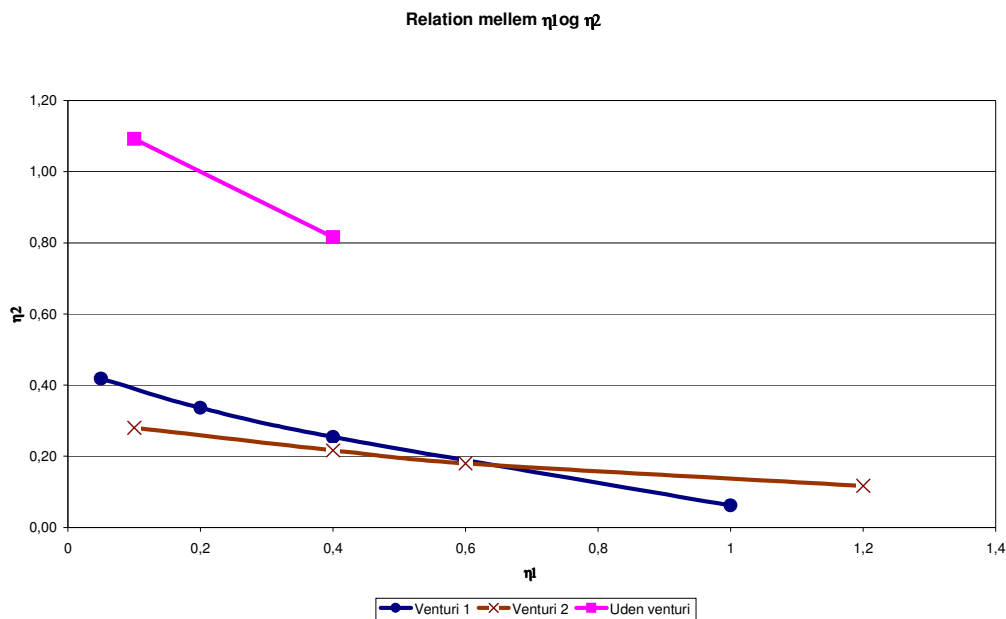
$$\eta_2 = \frac{Q}{\left(\frac{p_{tk0}}{\rho} \right)^{1/2} d_n^2} \cdot \left(\frac{d_n}{D} \right)$$

hvor p er pulstrykket, p_{tk0} er starttryk på trykluft, D er venturihals-diameter, d_n er dyse diameter, Q er flowet af trykluft og ρ er luftens massefylde.

Disse to udtryk, η_1 og η_2 , indeholder alle parametrene omkring rensesystemet, undtaget S , afstanden mellem dyse og venturi, som indgår i Π_4 som S/d_n . Dette forhold kan anvendes til udvikling af andre relationer/kurver, når data herfor foreligger.

Kurverne for de to venturier på fig. 15 skulle være sammenfaldende, men de er ikke helt sammenfaldende, lige som der i artiklens figurer er en vis spredning. På figuren er også vist sammenhørende værdier for η_1 og η_2 for en dyse uden venturi. Denne linie vil ikke være sammenfaldende med de øvrige kurver, fordi Π_4 er forskellig.

⁴ Dimensionsanalyse efter Buckingham pi teorien er bl.a. omtalt i L. Alfred Hansen og P. Søltoft: Kemiske enhedsoperationer, 1989, s. 42 ff.



Figur 15. Generelle (dimensionsløse) sammenhænge mellem parameterne η_1 og η_2 ved Jetpumper.

Ud fra dataene i fig. 15 kan beregnes nye jetpumpekurver, som vis nedenfor. Disse kurver skal p.g.a. spredning i de oprindelige data betragtes som retningsgivende, og man bør foretrække data fra leverandørerne på deres jetpumper (dyser og evt. venturier).

Ved at indsætte de ønskede parametre i udtrykkene for η_1 og η_2 , og sammenholde disse med aflæste værdierne på fig. 15 kan f.eks. findes sammenhørende værdier for Q og p ved ændring af p_{tko} :

- 1) Indsæt p, D, dn og p_{tko} i η_1 .
 - 2) Benyt η_1 -værdien til at aflæse en η_2 -værdi på fig. 15.
 - 3) Derefter indsættes D, dn, p_{tko} og p i η_2 , så Q kan beregnes.
- Gentag evt. pkt. 1 til 3 for andre p_{tko} -værdier.

Beregningsmetode ud fra de opgivne data i fig. 15.

Denne beregningsmetode gør det lettere at beregne nye driftsforhold og dimensioner på rensesystemet og dermed afgøre, om rensesystemet vil fungere under disse betingelserne for et givent filter. Men det kræver, at leverandøren af dysesystemet leverer og laver tilsvarende målinger og kurver for deres rensesystem. Der er i artiklen (ref. 2) angivet en metode hertil.

Ud over jetpumpekurven skal man kende filterposekurven, dvs. den samlede modstand (permeabilitet) for filtermediet og støvet – som evt. kan måles hos filterposeleverandøren.

Ud fra disse oplysninger kan man afgøre, hvor operationspunktet er, og dermed om der er stabilitet i filteret.

Metoden gør det muligt at afgøre nødvendigheden af at anvende venturi til en filtreringsopgave. Udfra driftspunktet og MCPP kan man endvidere forklare flere af de “uoverensstemmelser”, der er mellem tidligere erfaringerne fra rensninger med og uden venturier.

Som beskrevet i afsnit 2.6.1 forklarer metoden, at et filter med lav belastning (høj permeabilitet) ikke opnår nogen energimæssigt gevinst ved forbedring af rensesystemet med f.eks. venturier.

Ved at brugerne stiller krav om anvendelse af den her beskrevne metode opnår de, at valget af rensesystem bliver gennemskueligt (som ved valg af pumpe til rørsystemer). De får derved større sikkerhed for, at det valgte system er optimalt i deres situation, med hensyn til renseeffekt og stabilitet i trykfald over filteret.

2.7 Behovsstyring af rensningen

Ved at lade trykdifferensen over filteret indgå i styringen af hyppigheden af rensningerne kan der ved lave belastninger af filteret spares på tryklufte. Styringen kan indrettes, så trykfaldet over filteret skal over en indstillet værdi, før rensningen sker med fastsat interval.

Men styringen kan være mere avanceret så rensningen øges gradvist ved øget trykfald. Tillige således at der altid renses efter en indstillet maksimal pausetid, således at støvet ikke danner fast skorpe efter at have siddet lang tid på posen. Et sådant system er skitseret i afsnit 5.6.1 på fig. 21.

I de fleste styringssystemer er også indbygget, at rensningen automatisk stopper et antal minutter efter filteret er stoppet. Herved opnås, at poserne renses i bund.

2.8 Trykfald

Der findes flere ligninger i litteraturen til at estimere trykfaldet over poserne ud fra eksperimentale målinger. Ligningerne kan benyttes til at forstå elementerne, som trykfaldet er opbygget af. Følgende ligning (1) angiver trykfaldet som to led, første led ud fra selve posen og andet led ud fra det opsamlede støvlag.

$$\Delta p = K_1 \mu v + K_2 \mu W v \quad (1)$$

Hvor:

Δp = samlet trykfald over filterpose og støvlag

μ = viskositet af gassen

v = gassens hastighed på filterfladen ($m^3/m^2 h$)

W = støv masse (af opsamlet støv) pr. areal af filteret
= $c v t \phi$

c = støvkoncentration i gassen til filteret

t = filtreringstid (tid mellem rensning)

ϕ = Total udskilnings effektivitet

K1 og K2 kan bestemmes ud fra filtreringsforsøg.⁵ Visse data er opgivet i litteraturen⁶.

Af ligning (1) ses, at trykfaldet over en pose med støvlag afhænger af gassens hastighed ind mod filterfladen, v , samt af den opsamlede støvmængde W , begge i første potens. Heraf følger, at hvis hastigheden v øges i et filter (med fastholdt støvkoncentration), vil første led i udtrykket for trykfald stige proportionalt med v , medens det i andet led stiger med v^2 , idet v også indgår som produkt i W .

For at modvirke denne stigning i anden potens må man reducere renseliden ($\approx 1/v$). Herefter vil en ændring i luftmængden påvirke trykfaldet lineært, hvilket er den normale opgivelse i litteraturen, hvor støvlagets øgning ofte er udeladt.

2.8.1 Trykfald over øvrige dele i systemet

Ud over selve poserne er der trykfald over ind- og udløb i filteret, samt over kanaler og reguleringsspjæld.

2.9 Rensetrykkets virkning.

Trykket i forsyningen af renseluft har en afgørende betydning for, hvor effektivt poserne renses.

I litteraturen (ref. 1) er der ved at måle restindholdet af støv i en pose, W_R (g støv/ m² pose), under forskellige lufthastigheder vist, at rensetrykket skal op på en vis størrelse (i det konkrete tilfælde 3 bar, idet 1,5 bar ikke renses tilstrækkeligt), før posens restindhold af støv reduceres tilstrækkeligt. Se fig. 16. Der sker ikke nogen yderligere sænkning af restindholdet ved øg-

⁵ Udtrykkene er:

$$K_1 = \frac{L_1}{B_1} \quad (2)$$

$$K_2 = \frac{1}{B_1 \rho_s (1 - \varepsilon)} \quad (3)$$

Hvor:

Δp = samlet trykfald over filterpose og støvlag

μ = viskositet af gassen

L_1 = tykkelse af posemediet

v = gassens hastighed på filterfladen (m³/m² h)

ρ_s = vægtfylde af støvpartikler

B_1 = permeabilitet (luftgennemstrømning) af posefiber plus reststøv efter rensning

B_2 = permeabilitet (luftgennemstrømning) af støvlaget

W = støv masse (af opsamlet støv) pr. areal af filteret

$$= c v t \phi$$

c = støvkoncentration i gassen til filteret

t = filtreringstid (tid mellem rensning)

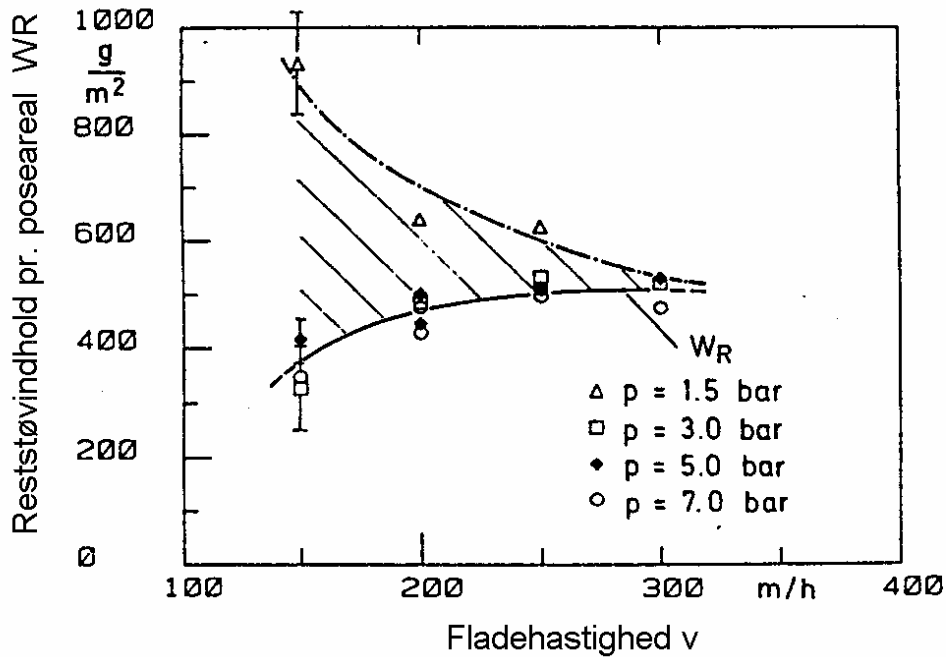
ϕ = Total udskilnings effektivitet

Den samlede udtryk er:

$$\Delta p = \frac{\mu}{B_1} L_1 v + \frac{\mu}{B_1} \frac{W}{\rho_s (1 - \varepsilon)} v \quad (4)$$

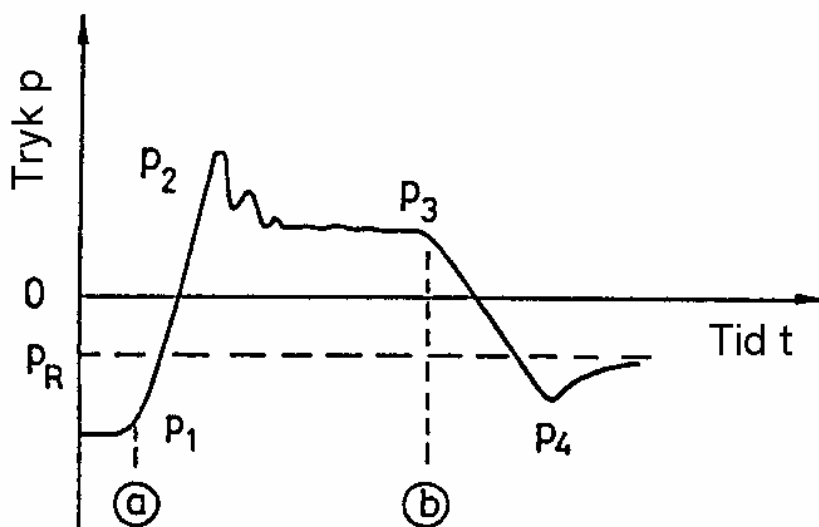
⁶ Löffler et al Dust collection.. s. 44-46.

ning af trykket (her 5 og 7 bar). Der er således et energimæssigt optimalt forsyningstryk på renseluften, som kan fastlægges ved forsøg eller erfaring.



Figur 16. Indflydelse af trykluftens forsyningstryk på reststøvindholdet i poser (eksempel)

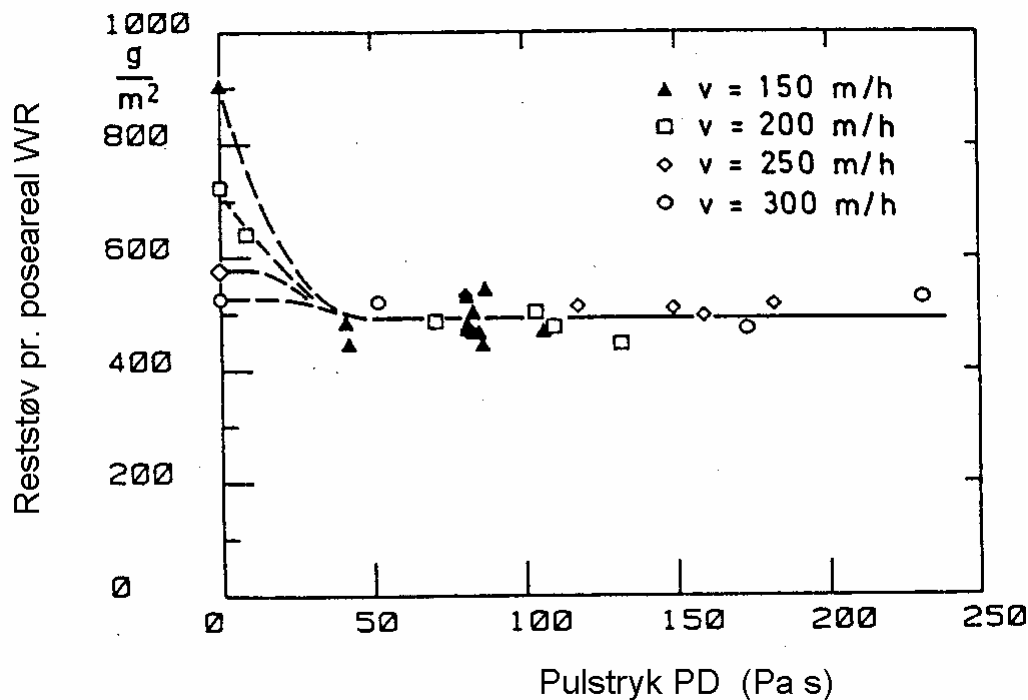
Trykket i poserne varierer under rensningsperioden som vist på fig. 17. Før rensningen er der undertryk (p_1) inde i posen som følge af trykfaldet over posen (svarende til p_R) og støvlaget. Umiddelbart efter åbning af ventilen (a) sker en øgning af trykket fra p_1 til p_2 og dermed ryster støvkagen af. Derefter sker der en gennemblæsning af posen ved trykket p_3 , og ventilen lukker ved (b), hvor trykket falder til det normale tryk for en rensset pose (p_R).



Figur 17. Trykket i en filterpose under rensningen.

Den samlede trykpuls, P_D , fås som arealet (integralet) under kurven på fig. 17 ned til tidsaksen. Dvs. såvel trykket som renseliden påvirker P_D .

Det kan ved forsøg vises, at P_D skal op på en vis størrelse for at rense effektivt, medens der ved trykpuls over en given værdi (på fig. 18 er denne 50 Pa*s) ikke opnås yderligere fjernelse af reststøvindholdet, W_R , i posen.



Figur 18. Trykpulsens indvirkning på rensningen, her målt som reststøvindholdet i posen.

Sammenfattende er det udfra en energimæssig betragtning vigtigt, at rensesystemet leverer det nødvendige tryk og den nødvendig effekt i form af trykpuls. En overdimensionering af dysen m.v. giver ikke bedre rensning, men spilder renseluft.

Værdierne kan delvis findes ved forsøg ved at øge rensningen på et filter, til der ikke længere ses nogen effekt på trykfaldet heraf. Det kræver, at poserne endnu ikke er tilbløkkede, men stadig har en god følsomhed overfor rensningen.

Idet trykfaldet over filteret også kan falde som følge af kanaldannelser i støvlaget, er målingen af trykfaldet over poserne noget usikker. Det er bedre at måle restindholdet af støv i posen, men dette kræver specialudstyr, så trykfaldet må benyttes ved de fleste praktiske optimeringer af filtre.

3 Erfaringer fra leverandører

I Danmark er der 15-20 leverandører af posefiltre. Følgende fire producerer filtrene i Danmark: DISA Nordfab A/S, Simatek A/S, Sprout Matador A/S og Moldow A/S. Der er desuden et antal leverandører af procesanlæg med tilhørende posefiltre, som selv producerer deres posefiltre, men ikke sælger disse separat.

I forbindelse med dette projekt er følgende leverandører blevet besøgt:

- BTR Environmental A/S
- DISA Nordfab A/S
- KE Fibertec A/S (leverer kun poser og rensesystemer)
- Moldow A/S
- Simatek A/S
- Sprout Matador A/S

Formålet med besøgene var dels at diskutere erfaringer med energioptimering af posefiltre og dels at indsamle generel information om posefiltre, samt identificere potentielle virksomheder for målinger og test.

I det følgende beskrives kort en række emner, som har været diskuteret under besøgene hos leverandørerne.

3.1 De største besparelsemuligheder

Besøgene hos leverandørerne har peget på, at de største energibesparelspotentialer i forbindelse med posefiltre findes i overbelastede filtre. Et overbelastet filter kendes ved, at tryktabet over filteret er uforholdsmæssigt stort, og/eller forbruget af trykluft til rensning er uforholdsmæssigt stort.

En undersøgelse af støvet og filteret kan klarlægge, om årsagen til overbelastningen ligger i et af følgende forhold:

- For stor volumenstrøm i forhold til filterarealet (filteret er for lille)
- Støvet renses ikke af poserne, idet støvet er for svævende
- Støvet trænger for meget ind i posefibrene

Det er leverandørernes generelle opfattelse, at energiforbruget kan reduceres ved større grad af tilpasning af volumenstrømmen og rensningen til behovet. Ligesom anvendelse af energieffektive motorer, ventilatorer og remtræk vil give besparelser.

Der var delte meninger om, hvorvidt anvendelse af andet posemateriale (f.eks. membranposer) og anvendelse af dyser i forbindelse med trykluftrensning har nogen effekt på energiforbruget.

3.2 Dyser eller ej

De fleste af de besøgte leverandører mener, at anvendelse af dyser til effektivisering af trykluftrensningen ikke er rentabelt ud fra en totaløkonomisk betragtning, hvor merprisen for dyserne skal tjenes hjem i energibesparelser.

Enkelte af leverandørerne, som tidligere havde leveret løsninger både med og uden dyser, havde ikke kunnet vise en væsentlig besparelse med målinger. Et par af leverandørerne havde dog gode erfaringer med effektivisering af trykluftrforbruget ved anvendelse af dyser.

I dette projekt vises effekten heraf på virksomheden Rockwool A/S (afsnit 4.2), ligesom der i afsnit 2.6 er beskrevet, hvordan effekten af dyser/venturier kan beregnes og udfra filterets driftsparametre afgøre om disse er nødvendig.

3.3 Renseprincip

De fleste leverandører anvender trykluftrrensning, typisk med et tryk på 4-7 bar. Enkelte anvender returblæserrensning, hvor trykket er under 0,3 bar (helt ned til 0,006-0,01 bar (60-100 mmVS)). Til gengæld for det lavere tryk kræves en større luftmængde ved returluftrensningen, lige som intensiteten af rensningen er lavere, så metoden benyttes, hvor støvet forholdsvis let løsner sig fra poserne. Luftmængden, som benyttes ved rensningen, skal forinden også renses i filteret, dvs. det aktuelle flow gennem filteret bliver større.

En kombination af ovennævnte benyttes af Simatek A/S. Her anvendes 0,7 bar luft, som tilføres poserne gennem en specialdyse, som gør det muligt at fjerne en større del af støvkagen og af det støv, som er indlejret i poserne. Som følge af det lavere tryk på renseluften bliver elforbruget hertil lavere, men rensprincipet er dyrere og med flere bevægelige dele.

3.4 Tryktab over filteret (uden poser)

Tryktabet over selve filteret, uden poser og eksklusiv kanaler, ligger altovervejende i henholdsvis ind- og udløb. De enkelte fabrikanter udformer deres ind- og udløb på forskellig vis. Hastigheden i indløbet ønskes høj af hensyn til bærehastigheden af støvet, lige som der for bl.a. runde filtre kan tilstræbes en cycloneffekt til at fjerne de største partikler.

Tryktabet over et poseløst filter ligger typisk på 250-500 Pa (25-50 mmVS). Tryktabet i ind- og udløbet udgør i mange tilfælde en forholdsvis lille andel af det samlede tryktab med kanaler og poser.

Det er vigtigt at filteret er i balance, således at det største tryk ligger over filterposerne, og ikke i kanaler mv., idet dette sikrer, at alle poserne bliver ens belastet.

3.5 Runde eller firkantede filtre

Der er både runde og firkantede filtre på markedet. Fordelen ved de firkantede filtre er, at de er mere fleksible i størrelsen, idet de opbygges i moduler. De runde filters diameter derimod

er begrænset af bredden af en lastbil. Fordelen ved de runde filtre er bl.a., at de kan klare et større undertryk end de firkantede filtre.

De runde filtre har hyppigst tangentielt indløb, hvorved der opnås en cycloneffekt og de største partikler udskilles før filterposerne. Ligeledes kan øvrige filtre have en forudskiller. Om denne cycloneffekt er en fordel afhænger af støvet. På grund af cycloneffekten er det kun de mindste partikler, som skal udskilles ved selve posefiltreringen, og afhængigt af støvet kan dette enten give et højere trykfald som følge af et mere tæt støvlag eller lavere trykfald, idet støvmængden er reduceret.

Det er ikke energiforbruget, som er bestemmende for valget mellem runde eller firkantede filtre, men de praktiske forhold omkring filteret.

3.6 Topindløb (forudskiller) eller bundindløb

Ved store affaldsmængder vælges indløbet ført ind i bundkassen, så det bundfælder før det når poserne. Ved høje hastigheder anvendes en plade foran poserne (forudskiller) og/ eller indføring i toppen af filteret.

Ved let støv med lav svævehastighed er det nødvendigt at benytte topindløb, så afrenset støv trækkes ned i bundkassen af luftstrømmen.

Ifølge en af leverandørerne har målinger vist, at forbruget af trykluft til rensning i et tilfælde kunne halveres ved topindløb i forhold til bundindløb pga., at støvet da blæses medstrøms af luften/røggassen.

Som beskrevet i afsnit 2.1.4 har disse forhold især ved fint støv betydning ved design af filtre, så fejlkonstruktion undgås, men generelt kan der ikke anføres energimæssige forskelle mellem de to typer.

3.7 Indkøbstraditioner

Ifølge leverandørerne er følgende faktorer de væsentligste for kunderne ved indkøb af et nyt posefilter.

Driftssikkerhed er for mange den primære parameter ved anskaffelse af et posefilter, især når det indgår som en del af en kontinuerlig produktion, hvor driftstop kan betyde mere end investeringen i selve filteret.

Ofte er posefilteret kun en lille del af et større produktionsanlæg. En lille del, som er nødvendig af miljømæssige hensyn, og som måske kan blive presset i kapacitet og størrelse (pladsforhold).

Flere leverandører oplever en øget opmærksomhed omkring energiforbruget. Flere og flere kunder, typisk de teknisk velfunderede, efterspørger sparemotorer og behovstyring af rensningen.

3.8 Designtraditioner

Der er en række parametre med betydning for energiforbruget, som er faste, når støvet, luftmængder, filterplacering mm. er kendt. Tilbage er oftest, hvor meget filteret skal belastes, og hvad der skal accepteres af trykdifferens over poserne.

Hvilken belastning filtret udlægges til og hvilken trykdifferens, som rensningen udlægges for, afhænger i høj grad af købers økonomiske prioritering.

Hvis posefilteret er sekundært i forhold til produktionen kan det ske, at der af økonomiske årsager vælges et (for) lille filterareal. Dermed øges filterets belastningsgrad og tryktabet over filteret, hvilket alt andet lige øger de løbende driftsudgifter.

Et filters belastningsgrad er forholdet mellem volumenstrømmen gennem filtret og dets samlede poseareal. Hvilken belastningsgrad et posefilter udlægges for afhænger bl.a. af støvets egenskaber og anlæggets driftstid. De adspurgte leverandører dimensionerer filteret ud fra støvets egenskaber mv. og typisk vil anlæg med en belastning på 1-2 m³/min pr. m² posemateriale betragtes som veldesignet. Ofte ligger belastningen på 2-5 m³/min pr. m². Enkelte leverandører går i nogle tilfælde op til en belastning på 6 m³/min pr. m². Der kan være tale om anlæg med en meget kort driftstid mv., hvor der ud fra en totaløkonomisk betragtning kan accepteres en større filterbelastning for at minimere anskaffelsesprisen.

4 Forsøg på virksomheder

Mulighederne for at energieffektivisere idriftværende posefiltre er undersøgt på tre virksomheder. Der er blevet udført målinger på posefiltre hos:

Virksomhed	Effektivisering
Damolin A/S, Skarrehage på Mors	Overfladefiltrering
Rockwool A/S, Øster Doense	Nyt rensesystem m. dyser
TARCO VEJ A/S, Svogerslev	Overfladefiltrering

Som nævnt i afsnit 3.1 var der delte meninger blandt leverandørerne om, hvorvidt anvendelsen af andet posemateriale end standard poser (dybdefiltrering) og anvendelse af dyser i forbindelse med trykluftrensning er fordelagtigt ud fra en energiøkonomisk betragtning. Der er derfor valgt primært at fokusere på dette under de konkrete målinger på posefilteranlæg.

I det følgende beskrives kort de enkelte målinger samt resultaterne heraf.

4.1 Damolin A/S – andet posemateriale

Damolin A/S producerer tørret og brændt molergranulat. Virksomheden har en række posefiltre, hvoraf der er foretaget målinger på et af de største filtre. Dette filter fjerner støv fra siloer samt transportbånd. Transportbåndene er til dels placeret udendørs med tag over.

Støvet er meget fint og vanskeligt at udskille. Det danner en meget tæt støvkage på poserne, 3-4 gange tættere end ”normalt støv”. Støvet rumvægt er 240 kg/m^3 .

Filteret er et Industri-Filter af typen PI AE, som blev installeret i 1990. Filteret består af 10 sektioner med hver 7 rækker á 6 poser. Filteret har i alt 420 poser med et samlet filterareal på 490 m^2 . Poserne er fremstillet af 340 mg/m^2 polyester nålefilt.

Filteret er udlagt til en luftmængde på $50.000 \text{ m}^3/\text{h}$, dvs. en belastning svarende til $1,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ pr. min. Ventilatoren er udlagt til et driftspunkt, hvor differenstrykket er 4000 Pa (400 mmVS). Den er forsynet med en ledeskinne, således at det manuelt er muligt at regulere luftmængden. Ventilatoren er forsynet med en 75 kW motor.

Poserne renses off-line med trykluft. Dette er en rigtig løsning, så støvet har lettere ved at falde ned i bunden af filteret. Rensningen sker for en sektion med 42 poser på én gang. Trykket af renseluften er 6 bar. Trykluftbeholderen i forbindelse med filtret er på ca. 500 liter.

Industri-Filter angiver, at ved start er trykfaldet over standardposerne 250 Pa (25 mmVS), og de anbefaler, at poserne skiftes ved et trykfald på 2.000 Pa (200 mmVS). Desuden angives det, at trykket af renseluften minimum skal være 6 bar, og det maksimale trykluftforbrug oplyses til $150 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

I april 1999 blev der foretaget en række målinger på filteret. På dette tidspunkt havde poserne været i drift et års tid. Trykfaldet over filteret var 2.250 Pa (230 mmVS) ved en luftmængde på $40.000 - 50.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Rensningen skete med fast interval på 35 s mellem sektionerne, og trykluftforbruget blev skønnet til 40-50 Nm³/h. Dette forbrug af trykluft svarer til 5,9 kW elforbrug⁷, hvilket er 15 % af den effekt som procesgassen kræver for at passerer poserne. Der blev forsøgt at rense hyp-pigere end hvert 35 s, men tryklufforsyningen frem til filteret var ikke tilstrækkelig hertil. Det blev oplyst, at efter isætning af nye standardposer nåede trykdifferensen i løbet af en måned de 2.000 Pa.

Undersøgelse af poserne bekræftede mistanken om, at poserne hurtigt var blevet tilblokket ("blinded") af det fine støv.

	Før poseskift	Efter poseskift
Antal poser	420 stk. i alt 490 m ²	Samme
Type	340 mg/m ² polyester	Økotec TS (0121470)
Trykfald over filteret	2.250 Pa (230 mmVS)	1.130-1.420 Pa (115 og 145 mmVS)
Trykluftforbrug	40-50 Nm ³ /h (pause 35 s)	20-25 Nm ³ /h (pause 58 s)
Ventilatorens effektoptag	70 kW	53 kW, sparet ca. 17 kW.
Effektforbrug over filter	54 kW ⁸	30 kW
Effektforbrug til trykluft	5,9 kW	3,0 kW

Derfor indvilgede Damolin i et forsøg med specialposer til overfladefiltrering. Specialposerne er af typen KE Økotec TS (0121470), som er en polyesterbaseret nålefilt med en specialoverflade, som forhindrer, at støvet trænger ind i poserne.

Målinger foretaget 3 måneder efter poseskiftet viste en trykdifferens over filteret på 1.130-1.420 Pa (115 og 145 mmVS). Rensningen er behovsstyret ud fra trykfaldet over filteret, og den laveste rensfrekvens, med pause i 58 s, blev anvendt i store dele af driftstiden. Trykluftforbruget er således halveret og vurderes til 20-25 Nm³/h. Dette svarer til en reduktion i kompressorens effektoptag på ca. 2 kW. Forsøg med at mindske pausetiden til hvert 35. s resulterede i en mere stabil trykdifferens, som blev reduceret med gennemsnitlig ca. 50 Pa. Dette svarer til en elbesparelse på ventilatoren på ca. 1 kW, medens der er et merforbrug på ca. 3 kW el til fremstilling af trykluffen. Derfor var der ingen nettogevinst ved at øge rensningen.

Ved et besøg på virksomheden i januar 2000 (6 måneder efter poseskiftet) var trykket stadig pænt lavt på ca. 1.200 Pa (120 mm VS). Derfor er der igangsat undersøgelser for effektivisering af de øvrige filtre på virksomheden.

Det mindskede trykfald over filteret har gjort det nødvendigt at indregulere den udsugede luftmængde ved at lukke ledeskinnereguleringen. Dette førte til en reduktion i ventilatorens effektoptag på ca. 17 kW. Regulering med ledeskinne er imidlertid ikke særligt energieffektivt. Ved i stedet at åbne ledeskinnespjældet og nedgeare ventilatoren kan der, som følge af at tryktabet over spjældet fjernes, opnås en samlet effektreduktion på 24 kW eller ca. 35% af ventilatorens effektoptag.

⁷ Ved 0,13 kWh/Nm³ trykluft.

⁸ 60.000 m³/h / 3600 s/h * 2250 Pa / 0,7 (η_{tot}) = 53.570 W

Specialposerne koster 145 kr./stk., hvilket i forhold til de tidligere anvendte poser er en merudgift på 35.700 kr. Filteret er i drift 8.000 timer om året, dvs. merudgiften er tilbagebetalt på 5 måneder.⁹

4.2 Rockwool A/S - nyt trykluftrensesystem med dyser

Rockwool A/S producerer isoleringsmateriale. På fabrikken i Øster Doense er der målt på et posefilteranlæg, som renser støvfylt røggas fra en ovn. Støvet er meget fint og vejer 100 kg/m³.

Posefilteranlægget består af to parallelkoblede runde filtre af typen Industri-Filter. Hvert filter er designet til 271 poser opdelt med 7-8 poser på hver række. Det samlede poseareal i hvert filter var 321 m². Posematerialet er en special Nomex (Nomex er en modificeret nylon) af typen 0131343.

De to filtre er forsynet med en fælles ventilator med en frekvensreguleret 45 kW motor. Motoren reguleres således, at der holdes et fast undertryk i ovnen.

Filtrene renses med én række ad gangen med trykluft. Trykket af renseluften er 7-8 bar. For hvert filter bestod trykluftbeholderen af fire serieforbundne beholdere af hver ca. 20 l. Rensningen er behovsstyret ud fra trykdifferens.

Filtrene og ventilatoren gav en kapacitetbegrænsning, som man ønskede at fjerne på en billig og energieffektiv måde ved ombygning af filtrene.

Inden ombygningen blev foretaget, var rensfrekvensen for begge filtre typisk mellem 9 og 10 s. Herudfra blev skønnet et trykluftforbrug på 50-60 Nm³/h pr. filter. Samlet svarer dette til 14 kW eller 5,3 gang effekten til at overvinde trykfaldet over poserne.

Ombygningen bestod i, at det ene filter fik påmonteret helt nye renserrør med dyser, nye trykluftbeholdere, skudventiler og fik 41 ekstra poser. Dette resulterede i, at det ombyggede filter kunne klare hele røggasmængden alene. Samtidig faldt rensfrekvensen fra ca. 6 gange til 3-4 gang pr. minut. Trykluftforbruget var efter renoveringen typisk 25 Nm³/h.

	Før ombyggn. 2 filtre	Efter ombyggn. 1 filter
Antal poser	542 stk., i alt 642 m ²	312 stk., i alt 368 m ²
Type	Nomex 0131343.	Samme
Gasflow	8.000 m ³ /h	8.700 m ³ /h
Trykfald over filteret	800 Pa	850 Pa
Trykluftforbrug	50-60 Nm ³ /h/filter	Ca. 25 Nm ³ /h
Ventilatoren optagne effekt	15 kW	20 kW
Effektforbrug over filter	2,5 kW	2,9 kW
Effektforbrug til trykluft	14 kW	3 kW

⁹ TBT (år): 35.700 kr. / (8.000 h · (24+2)kW · 0,45 kr./kWh).

Trykluftforbruget har ved ombygningen kunnet reduceres med ca. 30 Nm³/h, svarende til en kompressoreffekt på ca. 3,9 kW. Ved en årlig driftstid på ca. 7.000 timer og en elpris på 0,45 kr./kWh fås en årlig besparelse ca. 12.000 kr./år.

Hertil kommer besparelsen ved ikke at skulle udskifte 230 poser. Poserne udskiftes ca. én gang om året og prisen pr. pose er ca. 150 kr., dvs. besparelsen bliver ca. 35.000 kr./år. Investeringen var ca. 350.000 kr. og tilbagebetalingstiden bliver ca. 7 år. Men dette skal ses i forhold til alternativet at bygge et nyt filter.

Dyserne selv koster ca. 125 kr./stk. og den samlede dyseinvestering udgjorde omkring 10% af den samlede investering. Ombygningen af hele systemet var meget stor, hvilket var den primære årsag til størrelsen af den samlede investering. Ved etablering af dyser i forbindelse med nyanlæg vil investeringen være væsentlig mindre.

4.3 TARCO VEJ A/S – andet posemateriale

TARCO VEJ A/S producerer asfalt. På fabrikken i Svogerslev er der målt på et filter, som renses røggassen fra en tørretromle. Anlæggets årlige driftstid er ca. 1090 timer.

Filteret er et KVM-filter af typen 2K8-60N. Filteret har 16 kamre med hver 6 rækker af poser, hvor hver række har 13 poser, dvs. i alt 1248 poser. Det samlede poseareal er 957 m². Der blev anvendt poser af typen Nomex 550 g/m².

Støvet har en rumvægt på 1100 kg/m³.

Rensningen af poserne foregår med trykluft. Rensningen foregår kammervis, hvor der i hvert kammer affyres 6 skud, ét skud for hver række. Pausetiden mellem de enkelte skud er sat til 275 ms. Rensningen er behovsstyret ud fra trykdifferensen over filteret. Den maksimale pausetid mellem kamrene er sat til 30 s og den minimale pausetid mellem kamrene er 2 s. Den aktuelle pausetid styres af en trykdifferensmåling, hvor 250 mmVS giver anledning til at den minimale pausetid benyttes og 0 mmVS til at den længste pausetid benyttes. Ifølge leverandøren er trykluftforbruget til rensningen typisk 270-350 NI pr. kammer. Der er ikke en lokal beholder ved filteret.

Røggassen suges gennem filteret af to ventilatorer med hver sin 75 kW motor, som optager ca. 45 kW. Røggasmængden reguleres ved motorstyrede ledeskinner. Styringen foregår således, at der holdes en fast temperatur af produktet ud af tørretromlen.

Trykdifferensen over poserne lå inden skift til et andet posemateriale på 700-2000 Pa, typisk 1300-1500 Pa. Dette gjorde, at filteret var en flaskehals for produktionen. For at kunne øge det eksisterende posefilters kapacitet, blev Nomex 550 g/m² poserne udskiftet med specialposer af typen 0131343 fra KE-Fibertec.

Investeringen i poserne var 165.000 kr. Det er stort set samme pris, som der betales for de tidligere anvendte poser.

Der blev foretaget målinger og registreringer af en række data både før og efter poseskiftet. Målinger og registreringer er foretaget over en 4 ugers periode, hvilket ifølge Tarco Vej skulle dække et repræsentativt del af produktionen.

	Før poseskift	Efter poseskift
Antal poser	1248 poser 957 m ²	Do.
Type	Nomex 550 g/m ²	Special 0131343
Trykfald over filteret	1300-1500 Pa	400-600 Pa
Trykluftforbrug	Ca.190 Nm ³ /h (Skøn)	Ca. 175 Nm ³ /h, målt. Sparet ca. 8 %
Luftmængde	66.000 Nm ³ /h	41.000 Nm ³ /h
Ventilatorenes effektoptag	2 * 43 kW	2 * 43 kW
Effektforbrug over filter	44 kW	10 kW
Effektforbrug over filter ved 66.000 Nm ³ /h	44kW	16 kW
Effektforbrug til trykluft	25 kW	23 kW

Målingerne på filtret *inden* poseskiftet gav følgende resultat:

Frekvensen mellem rensningen af kamrene blev registreret til 30 s, hvilket er den indtastede maksimale pausetid. Trykluftforbruget overslagsmæssigt beregnes til ca. 190 Nm³/h. Dette svarer til et energiforbrug på 25 kW eller 67 % af energiforbruget over poserne.

Volumenstrømmen blev i begyndelsen af juli målt til i alt 80.000 m³/h, svarende til ca. 66.000 Nm³/h.

Målingerne på filtret *efter* poseskiftet gav følgende resultat:

Poseskiftet resulterede i, at trykdifferensen over poserne faldt til 400-600 Pa, dvs. et fald på 900 Pa. En reduktion i trykfaldet på 900 Pa svarer ved den oprindelige luftmængde (80.000 m³/h) til en reduktion i ventilatorens optagne effekt på ca. 30 kW. Når der alligevel ikke kunne konstateres et lavere effektoptag i de to ventilatorer må det skyldes, at der samtidig er ændret andre steder i røggassystemet, så det samlede trykfald er øget.

Ifølge KE Fibertec bør trykfaldet over filtret ligge på omkring 800-1.000 Pa, så støvlaget på poserne er for tyndt.

Der blev målt over 4 ugers periode, og registreringer af trykluftforbruget viste 175 Nm³/h. Til gengæld var trykfaldet over filteret steget fra ca. 450 Pa til ca. 1400 Pa. Sidst på året blev årsagen til dette højere trykfald fastlagt til, at støvet er ændret til ekstraordinært fint støv. Undersøgelse af nogle af poserne viste at disse var tilblokket.

Det meget fine støv har givet et trykfald med de nye poser, som er væsentligt bedre end hvis de tidligere poser havde været anvendt, dog er trykfaldet over filteret nu, under de ændrede forhold, tæt på tidligere værdier.

5 Effektiviseringer

De væsentlige energiforbrug i forbindelse med posefiltre er følgende:

- Elforbrug til drift af de ventilatorer, som skaber volumenstrømmen af det støvbærende medie gennem filtrene.
- Elforbrug til produktion af renseluft. Afhængigt af rensemetode kan det være elforbrug til trykluftkompressorer, højtryksblæsere eller ventilatorer.

Foruden ovenstående energiforbrug kræves typisk mindre energiforbrug til f.eks. styringer af spjæld, sluser og snegle til transport af filteret støv. Dette ses der bort fra i denne undersøgelse.

Industriens årlige elforbrug til ventilation udgør 1.600 GWh. Anslås 10 % heraf at omfatte udsugningssystemer med posefiltre, hvor trykfaldet over poserne forbruger 50% af ventilatorens energiforbrug fås 80 GWh/år. Med en elpris på 45 øre/kWh svarer det til 36 mio. kr./år.

Tryktabet i et posefilter ligger for de fleste filters vedkommende mellem 500 og 2.000 Pa. Volumenstrømmen gennem filtrene ligger typisk på 5.000 til 100.000 m³/h. Enkelte filtre har volumenstrømme op til 500.000 m³/h. Dette giver et effektoptag i ventilatoren, som skal transportere gassen, på 1-100 kW.

Elforbruget til produktion af trykluft, som anvendes til rensning af poserne, afhænger af anlæggets belastning, støvtype, posemateriale, rensesystem mm. Erfaringer fra de tre virksomheder, som der har været foretaget målinger på, viser at elforbruget til trykluftkompressoren udgør følgende andel af ventilatorens elforbrug og af den nødvendige energi til procesgassen for at overvinde trykfaldet over filterne:

	Af total effekt ventilator	Af filterets tryktab	
		Før	Efter
Damolin	8 %	11 %	10 %
Tarco Vej	29 %	56 %	221 %
Rockwool	93 %	551 %	102 %

Effekt til trykluft i forhold til total effekt til ventilatoren og effekten for, at procesgassen kan passere filteret.

Trykluftseffektens andel af ventilatorens totaleffekt udgør således op til 90 % for mindre filtre og 30 % for større filtre. Set i forhold til effektforbruget ved at suge procesgassen gennem poserne bliver udsvinget meget større, men generelt kan energiforbruget til rensning på et hårdt belastet filter være af samme størrelse som energiforbruget til at transportere luften igennem filterposerne.

Der er følgende muligheder for at reducere elforbruget i forbindelse med posefiltre:

- Vælg lav filterbelastning, dvs. større filtre.
- Vælg en energieffektiv tilpasning af volumenstrømmen til behovet.
- Minimer tryktabet i ind- og udløb i filtret samt over poserne.
- Vælg effektiv rensesystem i forhold til støvets egenskaber.
- Vælg en effektiv behovsstyring af rensningen.
- Vælg effektive dyser og ventiler ved trykluftrensning.

Desuden kan der opnås besparelser ved at mindske tryktabet i kanaler, minimere behovet ved sugstederne samt vælge ventilator, motor og eventuelle remtræk med høje virkningsgrader. Som nævnt i sammenfatningen er dette ikke omtalt i dette projekt, da det allerede er beskrevet i andre sammenhænge.

I det følgende beskrives ovennævnte energieffektiviseringsmuligheder, bl.a. med hensyn til indikatorer for besparelsesmuligheder f.eks. i form af typiske nøgletal og løsningsforslag.

5.1 Store filtre med lav belastning

Som omtalt af næsten alle leverandørerne er en af de væsentligste årsager til øget energiforbrug omkring filtre, at disse er underdimensioneret i forhold til volumen og støvbelastning.

Dette skyldes naturligvis et ønske om at begrænse investeringen, men ved et design i underkanten er der en stor risiko for, at filteret kører med højt trykfald (> 2.000 Pa ~ 200 mm VS) og et meget stort trykluftforbrug til rensningen.

Idet der er stor variation i prisen pr. m² filter afhængigt af de procesmæssige forhold, så som korrosive og støvtyper, kan der ikke opstilles generelle råd omkring filterbelastning. Men det bør altid undersøges om merinvesteringen ved at øge filtrearealet står i forhold til den sparede energi til renseluft og til procesgassens overvindelse af tryktabet over poserne.

5.2 Energieffektiv tilpasning af volumenstrømmen

Ved projektering af et udsugningsanlæg skal lufthastigheden i kanalerne som minimum være bærehastigheden for det pågældende støv for at forhindre, at støvet bundfælder. Hvad bærehastigheden er for de enkelte støvtyper afgøres ud fra de enkelte leverandørers erfaringer og ud fra laboratorieforsøg med det pågældende støv. Bærehastigheder på 18-22 m/s er meget almindelige.

Ved processer som røggasrensning har støvet en lav bærehastighed, og røggasmængden afhænger af helt andre forhold. I andre processer er det nødvendigt at holde en konstant volumenstrøm eller tryk mv. Dette gælder typisk ved gasser fra ovne, tørreanlæg mm.

Ved udsugning af papir- og træaffald, udsugning fra slibestøv mv. forsøges holdt en konstant hastighed i kanalerne, som ikke bør være væsentlig over bærehastigheden. Hvis der suges fra mere end ét afsugningssted, reguleres mængden på de enkelte steder og trykforholdene i kanalsystemerne ændres, hvilket der skal tages hensyn til ved design. Her vil hastigheden ofte være tæt på bærehastigheden, når der suges fra alle stederne, medens hastigheden stiger, når nogle af stederne lukkes (dette gælder under forudsætning af, at der er separate kanaler fra

hvert afsugningssted til posefilteret). Her kan med fordel anvendes behovsstyring af ventilatoren med frekvensomformer, således at denne reguleres ned ved afsugning fra få steder. Ellers benytte overtryksfilter med flere ventilator, der stoppes, når der ikke er behov for dem.

Tilpasning af luftmængden sker i de fleste tilfælde, typiske på mindre anlæg, ved brug af et motorstyret spjæld. Dette er ud fra en energimæssig betragtning en dårlig løsning, hvis reguleringen benyttes meget. Selv om en spjældregulering er billig, kan den i det lange løb blive en dyr løsning.

På større anlæg, som er mere end f.eks. 5 år gammel, findes ofte ledeskinnereguleringer. Ud fra en energimæssig betragtning er det en brugbar løsning, hvis der er behov for nedregulering af luftmængden på op til 10-15 %. Ved større reguleringer er en frekvensregulering mere energieffektiv.

5.3 Minimering af tryktab

Der kan opnås elbesparelser på den ventilator, som skaber transporten af det støvbærende medie gennem posefiltret, ved at reducere tryktabet. Tryktabet kan f.eks. opdeles i følgende:

1. tryktab i kanaler
2. tryktab i filteret (eksklusiv poser)
3. tryktab over poserne

Den samlede fordeling af ovenstående tryktab afhænger bl.a. af egenskaberne af det støv, som udskilles. Tryktabet over poserne er f.eks. relativt lavt, når der er tale om fiberholdigt støv f.eks. træ- og papaffald og relativt højt, når der er tale om meget fint støv.

Tryktabet fordeler sig typisk på følgende vis:

	Typiske værdier	Andel af samlet tryktab
	[Pa]	[%]
Tryktab i kanaler	1.000-2.500	ca. 50
Tryktab i filteret	250	ca. 10
Tryktab i poser	500-2.000	ca. 40

5.3.1 Tryktabet i kanaler

Minimering af tryktab i kanaler bør man primært have for øje ved etablering af et nyt anlæg. Det er sjældent, at det kan betale sig at ombygge eksisterende kanalsystemer.

I kanalsystemerne kan tabet minimeres ved at minimere kanallængden, benytte så få og bløde bøjninger som muligt og ved ikke at benytte højere hastigheder end nødvendigt for at kunne transportere de aktuelle støvpartikler.

Netop pga. de høje hastigheder kan der opnås energimæssige gevinster ved, hvor det er muligt, at benytte 30° eller 45°-bøjninger i stedet for 90°, som ofte benyttes ved projektering af ventilationsanlæg og som også ses på nogle posefiltreanlæg. I nedenstående tabel er forskellen

i tryktab ved forskellige bøjninger under forudsætning af, at hastigheden er 20 m/s og 20 m³/s. Samtidig er vist et overslag over, hvad det koster i penge.

Bøjning	Tryktab Pa	Driftsomkostning kr/år bøjn. ¹⁰
90°	35	2.312
45°	17	1.123 Sparet: 1.189
30°	12	793 Sparet: 1.519

Det er således især ved anlæg med mange bøjninger, der er en væsentlig gevinst ved at ændre bøjningerne på tryktabssiden.

5.4 Tryktabet over filteret – oversigt af løsningsmuligheder.

Dette tryktab er meget bestemt af driftsbetingelserne for filteret. Selve belastningen i m³ gas/min. m² filterareal fastlægges ud fra design af filteret og det øvrige udstyr, medens øvrige forhold som støvmængde, støvets sammensætning og rens effektiviteten i højere grad er driftsbetinget.

Optimering af disse forhold kræver en stor erfaring omkring filtrering af det pågældende støv, som især leverandører af poser mv. besidder. Visse generelle anbefalinger kan gives:

Ved højt trykfald over poserne kan årsagen findes ved følgende undersøgelser. Hvis trykfaldet efter et poseskift stiger gradvist, men rimeligt hurtigt, kunne dette tyde på, at poserne ikke kan udskille støvet igen – de kan være tilblokkede med støv. Det kan skyldes, at rensningen ikke er effektiv, eller at poserne ikke kan renses, idet støvet er trængt for dybt ind i pose materialet.

Rensningen kan effektiviseres ved at undersøge rensesystemet for fejl, samt ved at forbedre dette med bedre rørsystem, dyser og venturier. Undersøg om støvet kan falde ned under rensning? – og om trykket falder, hvis filteret renses under stilstand – hvor støvet uhindret kan bundfælde (efterrensning). Ved fint svævestøv skal procesgassens flowretning være nedadgående, eller der skal benyttes off-line rensning.

Hvis poserne ikke kan udskille støvet, kan der forsøges med overfladefiltrering med membranposer. Disse tillader ikke støvet at trænge ind i posefibre. Men de kan give problemer ved slidende støv – og slid fra kurvene mv. ved rensning.

Hvis støvet har hygroskopisk karakter, kan poserne også blokke til som følge af en for dårlig tørholdelse under stilstand mv.

5.4.1 Tryktabet i poser

Tryktabet i poserne kan reduceres ved:

- at øge posearealet
- at vælge et andet posemateriale
- at effektivisere rensningen (øge rensfrekvens eller forbedre effekt af renseskuddene)

¹⁰ Ved 5.000 driftstimer/år, virkningsgrader: ventilator 87%, motor 87% remtræk 90% og 0,45 kr/kWh.

Det rimelige trykfald over poserne afhænger af støvet, som skal frafiltreres (og ikke mindst en økonomisk overvejelse mht. investering kontra driftsudgifter). Leverandørerne udlægger typisk filtrene således, at rensningen påbegyndes ved en trykdifferens over filtret på 1000 – 2000 Pa (100-200 mmVS). Når trykdifferensen er reduceret til 750-1250 Pa (75-125 mmVS) stoppes rensningen. Grænserne afhænger af støvets egenskaber. Ved fiberholdigt støv (f.eks. træ og pap) ligger trykniveauerne betydelig lavere end de her angivende værdier.

Er trykfaldet over poserne mere end 1300 Pa (130 mmVS), bør energieffektiviseringsmulighederne vurderes. Også ved lavere tryktab kan det være værd at overveje mulighederne for at reducere tryktabet, f.eks. hvis der er behov for en udvidelse af kapaciteten (den udsugede luftmængde). Afsnit 4.2 viser et eksempel herpå.

5.4.2 Poseareal

Tryktabet over poserne vokser lineært med volumenstrømmen, når støvlaget holdes konstant. Øges posearealet er det i praksis muligt med fastholdt rensfrekvens at reducere tryktabet. Omvendt kan forbruget af trykluft reduceres ved at fastholde tryktabet over filtret.

Belastningen af filtret (m^3/min pr. $\text{m}^2 = \text{m}/\text{min}$) varierer fra under 1 op til 6. Ved fint støv ligger belastningen nede omkring 1, mens den ved groft støv eller korte levetider er helt op til 6.

5.4.3 Posemateriale

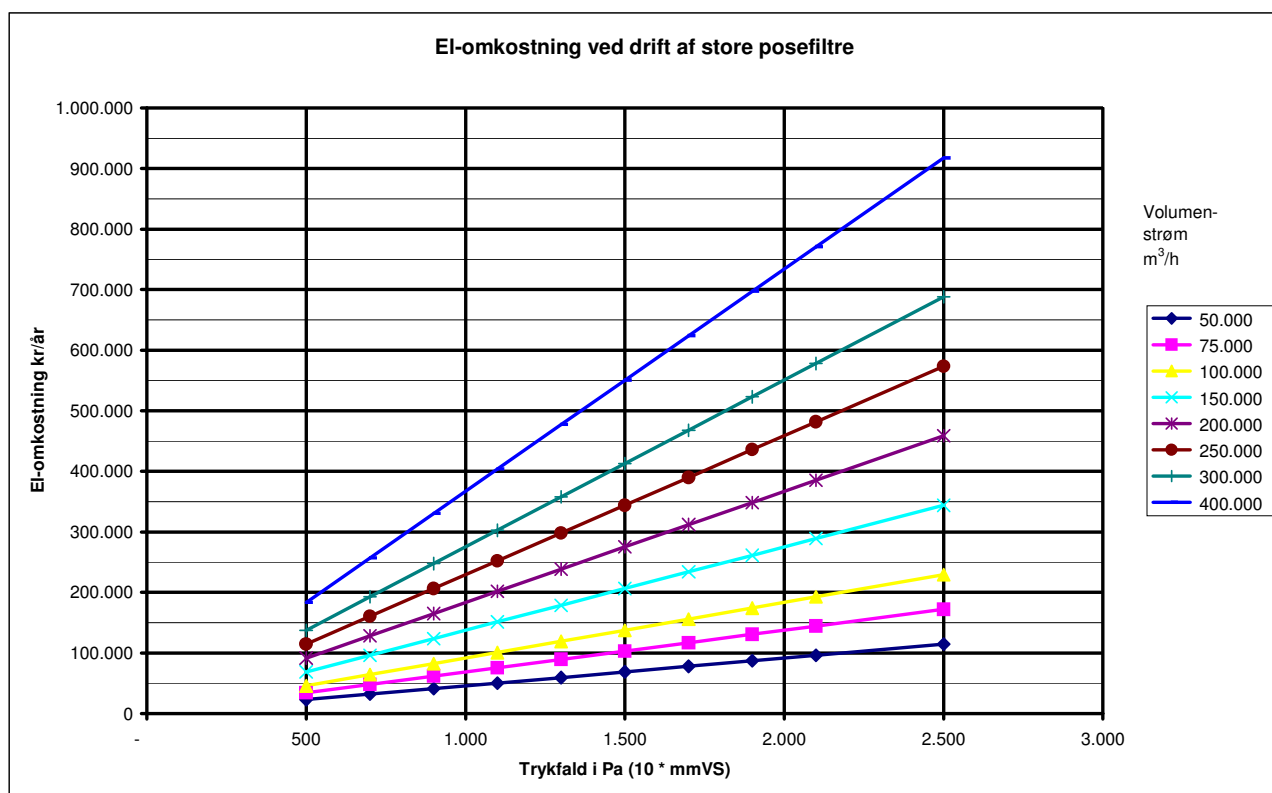
Hvis poserne tilblokker hurtigt efter poseskift og årsagen er meget fint støv, som trænger langt ind i posefibre, kan trykfaldet over poserne nedbringes ved at skifte fra dybdefiltrering til overfladefiltrering.

5.4.4 Minimering af tryktab gennem effektivisering af rensning

Det gennemsnitlige tryktab over poserne vil kunne reduceres ved at øge rensfrekvensen, og/eller effektiviteten af de enkelte renseskud, såfremt denne er ringe.

En øget rensfrekvens fører til et højere elforbrug til produktion af trykluft og ligeledes en kortere levetid af poserne. Ved forsøg kan findes det økonomisk optimale, når der tages hensyn til energiforbrug til at overvinde tryktab over filterposerne samt til trykluftforbrug og poseskift. Forsøgene skal udføres inden poserne evt. er blevet tilblokket.

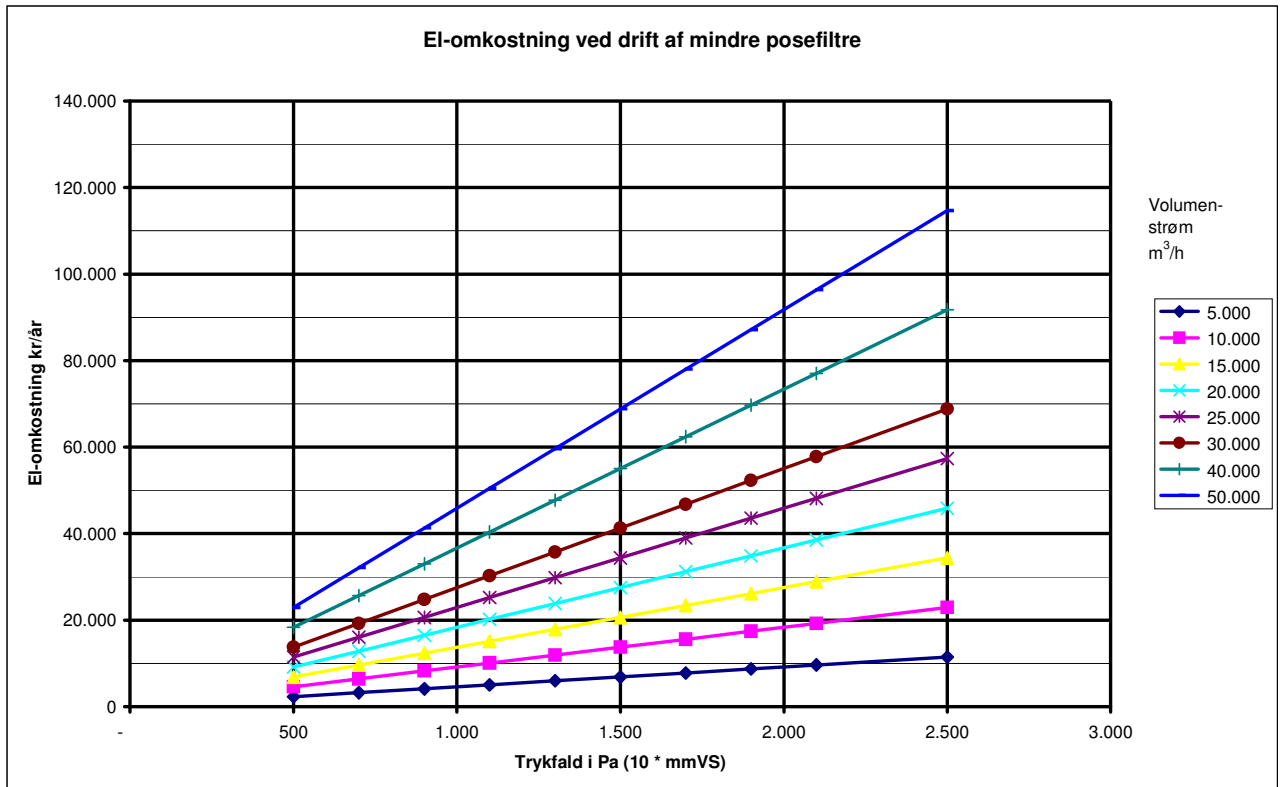
5.5 Udgifter til energi ved filtre



Figur 19. Omkostningen ved trykfald over filteret.

Driftsomkostningerne¹¹ ved drift af filtre er vist på fig. 19 og 20. Her er alene regnet med el-forbruget til ventilatoren, hertil skal lægges omkostningerne til renseluften. Som vist i afsnit 5 kan omkostningen til renseluft for mindre filtre være af samme størrelse som fig. 20 viser.

¹¹ Ved 5000 driftstimer/år, virkningsgrader: ventilator 87%, motor 87% remtræk 90% og 0,45 kr/kWh.



Figur 20. Omkostningen ved trykfald for mindre filtre.

5.5.1 Ventilator, motor og remtræk med høje virkningsgrader

De normale muligheder for effektivisering omkring ventilator gælder også ved posefiltre, men der henvises til standardløsninger og bl.a. Glencos vejledning¹² i energibevidst projektering af ventilationsanlæg.

5.5.2 Eftersyn

Med posefiltre i drift er det, udover sædvanlig opfølgning på posefilteret med emission mv., også energimæssigt fornuftigt at følge op på trykfaldet over filteret. Hvis der opstår en stigning heri kan følgende undersøges for at finde årsagen:

- Virker alle rensventiler?
- Har poserne været udsat for fugt el. lign.?

Derudover bør kanaler og evt. spjælde på støvsiden efterses og renses jævnligt.

5.6 Effektivt rensprincip

Det er afgørende for energiforbruget til filteret, at rensesystemet fungerer tilfredsstillende – dvs. at dette holder trykfaldet over filteret nede på et lavt niveau, og at filteret er stabil trykfaldsmæssigt.

¹² Glenco A/S, tlf. 3639 4222.

Som gennemgået i afsnit 2.9 om rensetrykket skal trykket være på et tilstrækkeligt niveau, mens en øgning af trykket ikke forbedrer rensningen.

Rensesystemet skal udnytte trykluftens energimæssigt optimalt, således at store tab i ventiler og rør undgås. Dyser giver en bedre strømning og øger energioptimeringen. Venturier er især nødvendige ved større tryktab over poserne.

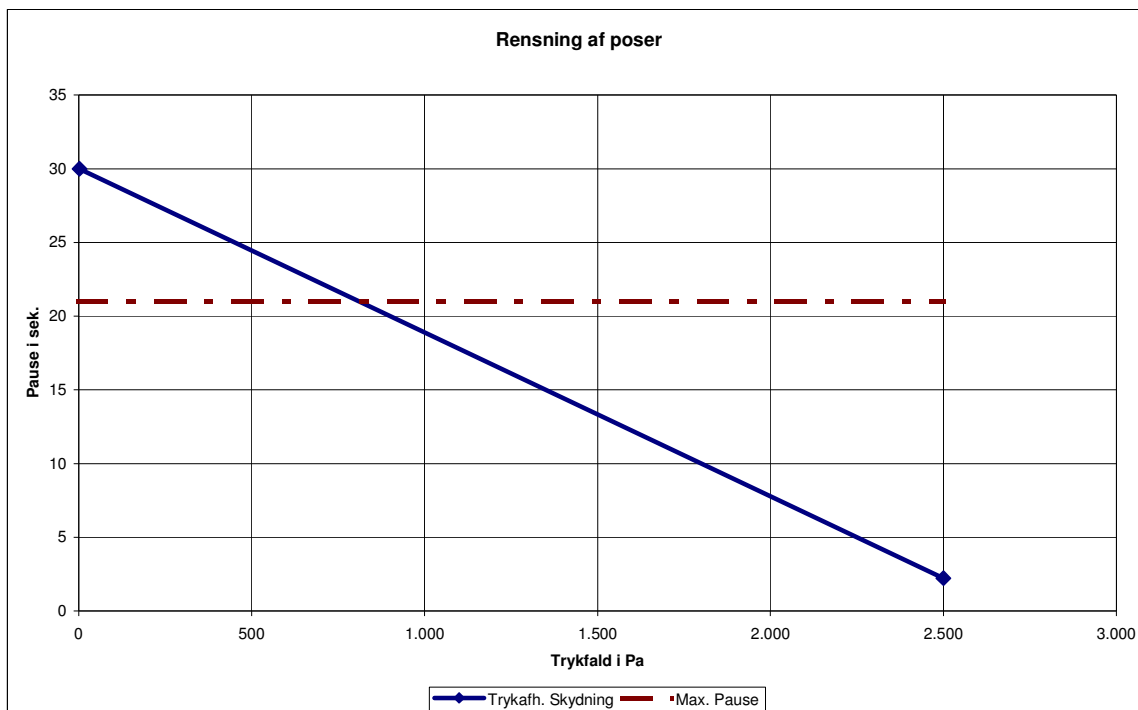
Disse forhold kan samles i de beregningsmetoder, der er gennemgået i afsnit 2.6. Med kurverne for den med rensesystemet opnåede puls og dens effekt og med tal for permeabiliteten af pose+støvlag kan der regnes på rensningen i lighed med beregninger for pumper og rørsystemer.

Hvis belastningen er høj på filteret er det væsentligt at der er stabilitet i filteret trykmæssigt, således at driftspunktet ligger på den rigtige side af maksimum af pulseffektkurven (MCCP), som beskrevet i afsnit 2.6.2.

5.6.1 Effektiv behovsstyring af rensningen

Intervallerne for rensning er typisk bestemt af en timer eller trykdifferensen over filtret. Trykdifferensstyring er især egnet til filtre, hvor der er varierende behov for afsugning og støvbelastning. Ved filtre med konstant belastning kan den optimale rensning derimod indstilles manuelt, når trykfaldet over de nye poser har stabiliseret sig.

En trykdifferensstyring koster typisk 5.000-10.000 kr.



Figur 21. Parameter til kontinuerlig styring af rensningen af poserne, som er styret af trykfaldet over filteret.

Figur 21 viser en trykdifferensstyring af renseluften. I eksemplet benyttes ved 2.500 Pa en kort pausetid 2 s. og ved 0 Pa lang rensinterval på 30 s. Denne kan overlejres af en maksimal rensinterval på f.eks. 21 s. hvis støvets egenskaber gør det nødvendigt at rense med jævne mellemrum.

Der kan også spares trykluft ved at indføre tidsstyring af efterrensningen. Efter at produktionen/støvafsugningen er stoppet, fortsætter rensningen og støvudtrækningsneglene med f.eks. 1-2 rensninger af alle poserne for bedre at fjerne indlejret støv, hvorefter rensningen stopper.

5.6.2 Effektive dyser og ventiler ved trykluftrensning

Ifølge flere leverandører kan en mere effektiv rensning med dyser ikke svare sig totaløkonomisk set. Som beskrevet i afsnit 2.6 er effektbehovet til rensning forskellig ved støv og poser med stor og lille permeabilitet, og derfor er der ikke altid samme fordel af et dyse/venturi system.

En bedre strømning i trykluftsystemet med stor dimension af ventiler og dyser over poserne i stedet for huller giver en energibesparelse, idet trykket er højere, når luften når frem til posen, og luften rammer posen mere præcist i midten.

Ved Jetpuls rensningen kan der spares trykluft ved kun at åbne ventilen fuldt i kort tid (nogle ms), idet en stor del af rensningen ligger i pulsstødet i posen. Nogle ventiler er bedre til at udføre dette end andre, så dette indgår i designvalget.

Som vist ved Rockwool i afsnit 4.2 er det muligt at opnå en energibesparelse med et bedre dimensioneret rensesystem med dyser og venturier. En anden gevinst ved brug af dyse/venturi ligger i, at rensningen sker fra toppen af posen og nedefter, hvor der uden dyse/venturi sker en opbygning af trykket og dermed rensningen fra bunden af posen og op efter.

Det konkrete valg omkring rensesystemet vil være en økonomisk optimering mellem drifts-omkostninger og investering i ventiler, dyser og evt. venturier. Ved at benytte den i afsnit 2.6 beskrevne metode kan denne optimering ske på baggrund af data, hvor det tidligere har været vanskeligt at sammenligne rensesystemer for en konkret filtreringsopgave.

6 Referencer

1. Löffler, Dietrich, Flatt: Dust collection with Bag Filters and envelope filters. Friedr. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1988.
2. Hsin-Chung Lu, Chuen-Jinn Tsai: Influence of design and operation parameters on bag-cleaning performance of Pulse-Jet baghouse. Journal of Environmental Engineering, juni 1999. p. 583-591.
3. Lanois, E.D. og Wiktorsson, A.: Current status and future potential for high-ratio fabric filter technology applied to utility coal-fired boilers. Proc., 1st Conf. on Fabric Filter Technol. For Coal-Fired Power Plants, EPRI, Denver, 1982, 4-125-4-154.
4. Charles E. Billings, et al.: Handbook of Fabric Filter Technology Vol. 1, Fabric filter system study. 1970
5. Glenco A/S: Energibevidst projektering af ventilationsanlæg, 1998.
6. L. Alfred Hansen og P. Søltoft: Kemiske enhedsoperationer, 1989.
7. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th edition.
8. Ventilations Ståbi, 1996.

Anvisning på energibevidst indkøb af posefiltre

Før og under indkøb:

Kend dit støv!

Den væsentligste forudsætning for filterdesignet er luftmængderne og de egenskaber, støvet har. To vigtige egenskaber ved støvet er størrelsesfordelingen og støvets evne til at sammenklumpe og danne en skorpe. Derfor bør disse egenskaber fastlægges enten ud fra tidligere produktioner og filtre eller ved forsøg hos filter(-pose)leverandøren.

Fastlæggelse af poseareal

Ved fastlæggelse af det areal, hvorover filtreringen sker, vil der være en økonomisk optimering mellem investering i filteret og de løbende driftsomkostninger. Vælges et lille filter – så belastningen i form af $\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2$ filterareal bliver stor – bliver trykfaldet over filteret stort og dermed øges elomkostningerne til ventilatoren samt forbrug af renseluft.

Trykstabil filter

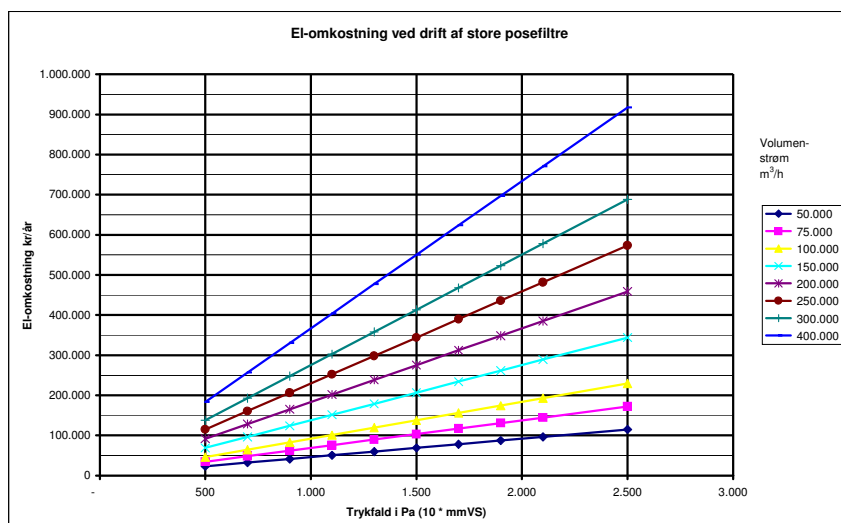
Bed leverandøren om sikkerhed for at trykfaldet er lavt, og at rensesystemet er i stand til at operere filteret stabilt trykfaldsmæssigt. Benyt den i rapporten beskrevne metode til at fastlægge rensesystemets driftspunkt og til at vurdere dette.

Rensesystemet bør være veldimensioneret med store ventiler med dyser over poserne samt evt. venturier. Poser med overfladefiltrering er en fordel ved fint støv.

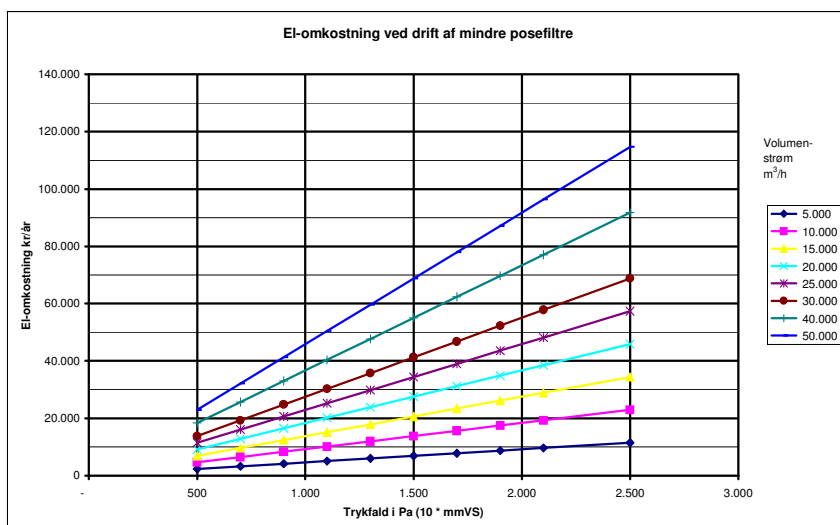
Totaløkonomi ved drift af posefiltre.

Filteret har til formål at udskille støvindholdet ned til en fastlagt renhed i afgangsluften. Til dette benyttes der el til ventilatorer og til renseluft. Hvis filteret arbejder med et højt trykfald over poserne mv. bevirker dette øget energiforbrug til ventilatoren og renseluften. Et højt trykfald kan også medføre øgede omkostninger til poser ved hyppigere poseskift og heraf følgende hyppig driftstop.

Udgifter til energi ved filtre:



Figur 1. Omkostningen ved trykfald over stort filter



Figur 2. Omkostningen ved trykfald over mindre filter

Det ses, at driftsomkostningerne¹³ fordobles, hvis et uheldigt design af filteret resulterer i en fordobling af tryktabet over filteret fra 1.000 til 2.000 Pa. Her er alene regnet med el-forbruget til ventilatoren, men ofte vil der også ske en øgning af renseluften af poserne, som for mindre filtre kan udgøre et energiforbrug af samme størrelse som ventilatorens elforbrug.

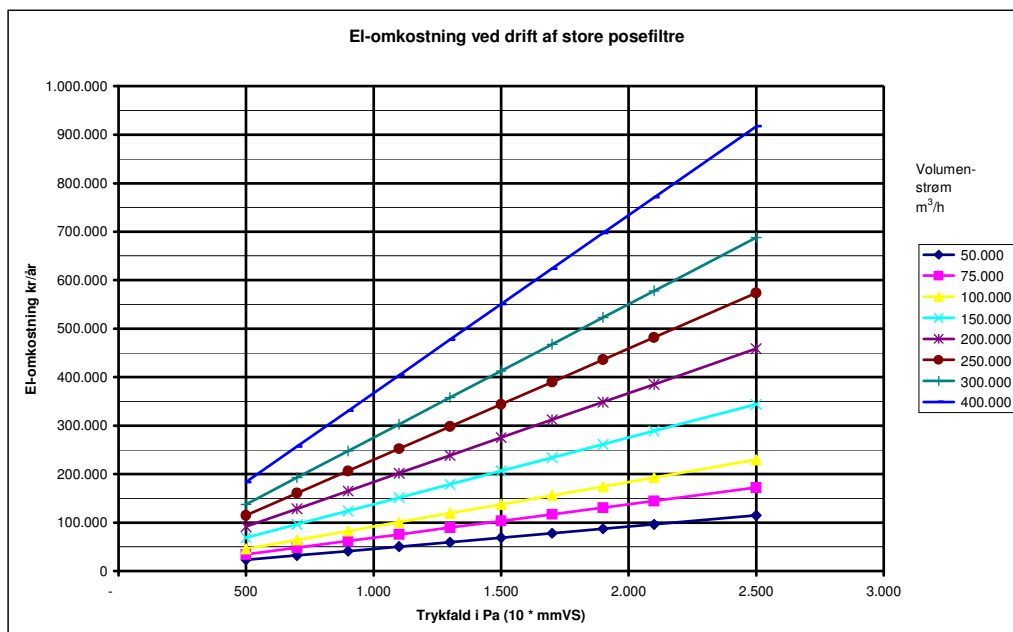
Tænk energibevidst, når du køber posefiltre

- Indhent tilbud på større filterareal og/eller bedre rensesystem med bl.a. følgende oplysninger:
 - Merinvestering i det større filterareal og/eller det bedre rensesystem
 - Trykfald over poser med støv, og energiforbrug ved gassens overvindelse heraf
 - Ændring i samlet forbrug af renseluft, og energiforbruget til fremstilling af dette
 - Hvis ændringen påvirker posernes levetid, da oplysning om levetid og posepris
- Optimer de samlede driftsomkostninger og (mer-)investeringen ved valg mellem alternative filterstørrelser/systemer.
- Overvej muligheder for overfladefiltrering ved bl.a. fint støv, og lad dette indgå i ovennævnte optimering
- Overvej behovsstyring af ventilatoren med frekvensregulering, hvis afsugningen i perioder kan begrænses
- Stil krav til rensesystemet. Benyt beregningsmetoden fra rapporten, således at filteret bliver stabilt trykfaldsmæssigt. Ved etablering af rensesystem med stor dimension af rør og ventiler med dyser og evt. venturier bliver filteret bedre til at modstå "usædvanlige" situationer ved ændring i støv mv.
- Større filtre bør leveres med:
 - Trykfaldsstyring af rensningen,
 - Registreringsudstyr af trykfaldet
 - Målemetode eller måleudstyr til kontrol af renseluftsforbruget
- Etabler tidsstyring af efterrensning af poserne i stilstandsperioder.
- Tryktabet over det tomme filter bør være under 300 Pa (30 mm VS).
- Trykfaldet i tilslutningskanaler bør være lavt og hastigheden bør være meget tæt på bærehastigheden for støvet.
- Trykfaldet over filtret bør normalt ikke overstige 1300 Pa (130 mm VS), men filteret skal optimeres ud fra totaløkonomien, hvor de forventede energiomkostninger indregnes.

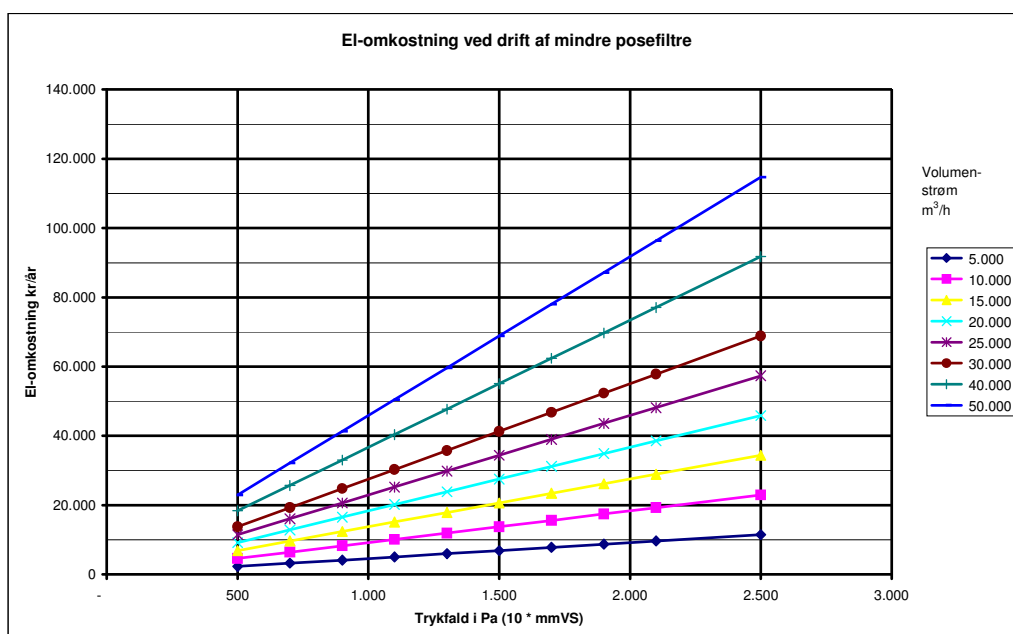
¹³ Ved 5000 driftstimer/år, virkningsgrader: ventilator 87%, motor 87% remtræk 90% og 0,45 kr/kWh.

Anvisning om energioptimering af eksisterende posefiltre

Udgifter til energi ved filtre:



Figur 1. Omkostningen ved trykfald over stort filter



Figur 2. Omkostningen ved trykfald over mindre filter

Som det ses er der store eludgifter¹⁴ i forbindelse med tryktabet over et posefilter, og eludgifterne fordobles, hvis tryktabet fordobles. Her er alene regnet med el-forbruget til ventilatoren, men ofte sker der også en øgning af renseluften, som kan være af samme størrelse for de mindre filtre.

¹⁴ Ved 5000 driftstimer/år, virkningsgrader: ventilator 87%, motor 87% remtræk 90% og 0,45 kr/kWh.

Skema for optimering	Undersøg da:	Hvis Ja, undersøg da:	Hvis Nej, undersøg da:
Er trykfaldet over 1300 Pa (130 mm VS) ?	Er trykfaldet steget hurtigt efter poseskift?	Om støvet kan komme væk fra poserne under rensningen. Hvis ikke, bør der overvejes off-line rensning eller nedadgående flowretning på filteret.	Har poserne været i brug længe, og er trykfaldet steget langsomt, skal poserne måske skiftes.
	Har poserne været udsat for fugt eller høje temperaturer?	Om dette kan forhindres fremover (f.eks. ved tørholdelse under stop). Ellers må det overvejes at skifte til andet posemedie mv.	
	Reduceres trykfaldet ved efterrensning af filteret (uden flow)?		Poserne er tilblokket. Det kan skyldes meget fint støv eller at rensesystemet ikke har nok effekt.
Ved meget fint støv	Få analyseret støvet hos pose-/filterleverandør.	Undersøg mulighederne for overfladefiltrering	
Ved ineffektiv rensesystem.	Er der defekter ved ventiler, dyser eller trykluftforsyning?	Ret fejlene. Hvis stadig højt trykfald, undersøg om poserne har været overbelastede pga. defekter. Ellers gå til næste pkt.	
	Forbedringer i rensesystem. Dimensioner i rør og ventiler – tryktab heri. Stort trykfald i installation?	Skift til større dimension i rensesystem. Evt. rensning af færre poser pr. gang.	
	Benyt beregningsmetoden i rapporten til beregning af driftspunktet for systemet og effekten. Er der behov for forbedring?	Forbedring eller etablering af dyser og/eller venturier	
Mål eller skøn trykluftforbruget. Er dette højt ?	Hvis behovsstyring af rensningen: Kører rensningen på det maksimale?	Hvis trykfaldet over filteret er lavt, så er styringen defekt.	
	Er trykket på trykluftensat for højt?	Prøv at øge trykket. Mindskes trykfaldet er poserne ikke tilblokket. Derefter sænkes trykket og virkningen på trykfaldet over poserne vurderes.	
	Er pausetiden for rensningen for kort?	Prøv at øge rensningen, hvis trykfaldet mindskes er poserne ikke tilblokket. Derefter reduceres rensningen og virkningen på trykfaldet over poserne vurderes.	
	Varierer belastningen?	Anvend behovsstyring af rensningen.	Kontrol af optimal indstilling af rensintervalterne.
Varierende flow igennem filteret?	Nedreguleres flowet ofte med mindst 10 %?	Undersøg mulighed for frevensregulering af ventilatoren.	Hvis det sker sjældnere kan sjældregulering benyttes.

Registrering af forbrug af renseluft kan ske skønsmæssigt ske ud fra trykfaldet i afspærret forbeholder efter en enkelt rensning, eller ved beregning af gennemstrømning i styreventil, åbnetid og pauser i rensningen. Men registreringer sker bedst med måleudstyr på tilgangsrøret.